



**José Carlos Martins  
Ramalho**

**Avaliação energética de um edifício de serviços.  
Escola Superior Aveiro Norte**





**José Carlos Martins  
Ramalho**

**Avaliação energética de um edifício de serviços.  
Escola Superior Aveiro Norte**

**Projeto** apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro





Dedico este trabalho à minha Mãe que me sustentou e deu a oportunidade de realizar este segundo curso e pelo exemplo de trabalho e resiliência que deu ao me ter criado ao mesmo tempo que trabalhava e estudava na universidade.



## **o júri**

presidente

Prof. Doutor Fernando José Neto da Silva  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro



## agradecimentos

Gostaria de deixar os meus agradecimentos ao meu orientador, Professor Doutor Nelson Martins, pelos conhecimentos que me transmitiu durante o meu percurso académico, pela motivação e interesse que me despertou nesta área do conhecimento e por ter aceitado me orientar neste trabalho.

Ao Professor Doutor Paulo Lima, que me recebeu na ESAN, pelo apoio que deu e pelas informações fornecidas.

Ao meu amigo Tiago Tavares, que me transportou e acompanhou ao Parque do Cercal quando foi necessário, de boa vontade e sem hesitar.

Ao senhor António Augusto, que me levou a visitar todas as salas do edifício e me auxiliou com o levantamento da informação relativa aos equipamentos das salas.

À minha tia Carmen pela ajuda que me deu com a revisão do texto, as suas sugestões e o apoio dado.

À minha amiga Ermelinda, pelo apoio incondicional na altura que mais precisei.



## palavras-chave

Energia, eficiência energética, climatização, conforto térmico, bombas de calor geotérmicas, piso radiante, água quente solar, pré-aquecimento solar de ar.

## resumo

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma avaliação energética à Escola Superior Aveiro Norte (ESAN), que é um polo da Universidade de Aveiro, situado em Oliveira de Azeméis. A motivação na escolha do objeto de estudo deste trabalho prende-se com o facto de ser um edifício único, recente, com pouco estudadas em Portugal, como bombas de calor geotérmicas associadas a piso radiante e ventilação, com pré-aquecimento de ar com recurso a painéis solares e recuperação de calor. Estas tecnologias foram usadas com vista a obter conforto, com um baixo consumo energético, apesar de não estarem a conseguir garantir essas condições. Por outro lado, o interesse no edifício está no facto de não ter sido, até à data, objeto de estudos relativos ao desempenho energético, desde a sua construção.

Para realizar o estudo, utilizou-se o programa de simulação dinâmica *DesignBuilder* para modelar o edifício, introduzindo-se os dados relativos à envolvente, iluminação, ocupação, equipamentos e sistemas de climatização.

A partir da análise dos resultados e do conhecimento do edifício proveniente do estudo da documentação fornecida e das visitas ao local, foi possível verificar que a heterogeneidade da área de envidraçados e das cargas térmicas entre as diferentes salas conjugada com a climatização pelos mesmos sistemas, causa grandes desequilíbrios térmicos e dificuldades no controlo das condições de conforto dentro do edifício.

Consequentemente, propõem-se medidas corretivas com vista a melhorar o conforto térmico e a eficiência energética, sendo algumas delas de baixo custo de implementação e poupanças energéticas significativas. Essas medidas têm vista a corrigir problemas de âmbito da implementação e controlo dos sistemas de climatização, ao nível do controlo da iluminação, da localização dos painéis solares para produção de Água Quente Sanitária, do aumento do isolamento da laje de betão que contém o piso radiante e da proteção solar pelo exterior da área envidraçada.





## keywords

Energy energetic efficiency, climate control, thermal comfort, ground source heat pumps, radiant floor, solar hot water, solar air pre-heating.

## abstract

The main goal of this project is to carry out an energy assessment to the School of Design, Management and Production Technologies Northern Aveiro (Escola Superior Aveiro Norte - ESAN), which is a the most recent organic unit of the University of Aveiro, located in the town of Oliveira de Azeméis. The motivation in choosing this subject relates to the fact that it is a unique, new building, modern with not very studied technologies, such Ground Source Heat Pumps associantd with radiant floors and ventilation with air preheating, aided by solar air panels and sensible heat recuperation. These technologies were used to achieve comfort, with a low energy consumption, even though they were not able to guarantee these conditions. Furthermore, the interest in the building is the fact that it is has not been, to date, the object of any study concerning energy performance, since its construction.

For this study, it was used *DesignBuilder* a dynamic simulation program for modeling the building, entering data on the environment, lighting, occupancy, equipment and HVAC systems.

From the analysis of the results and knowledge of the building from the study of the documentation provided and the site visits, it was possible to verify that the heterogeneity of the area of glazing and of the thermal loads between the different rooms combined with the HVAC through the same systems causes great thermal imbalances and difficulties in controlling the comfort conditions inside the building.

Consequently, corrective measures are proposed to improve thermal comfort and energy efficiency, some of them with low implementation costs and significant energy savings. These measures are aimed at correcting problems related to the implementation and control of HVAC systems, in terms of lighting control, the location of solar panels for the production of Sanitary Hot Water, increasing the insulation of the concrete slab containing radiant floor and solar protection by the exterior of the glazed area.



# ÍNDICE

---

Índice de Figuras .....	iv
Índice de Tabelas .....	viii
Índice de Quadros .....	ix
Nomenclatura .....	x
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 Contextualização .....	1
1.2 Objetivos do Projeto .....	4
1.3 Organização do documento.....	4
Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica .....	7
2.1 Introdução .....	7
2.2 Legislação e normalização .....	8
2.3 Auditoria Energética a Edifícios de Serviços.....	12
2.4 Simulação Energética de Edifícios.....	14
2.5 Reabilitação Energética de Edifícios.....	16
2.6 Sistemas de AVAC .....	17
3. Conclusão .....	30
Capítulo 3 – Metodologia Adotada .....	33
3.1 Síntese Metodológica .....	33
3.2 Implantação e Dados Climáticos.....	34
3.3 Levantamento Dimensional .....	35
3.4 Calibração do Modelo de Simulação Dinâmica.....	36
3.5 Definição do Edifício de Referência .....	37

3.6	Determinação da Classe Energética do Edifício .....	38
3.7	Análise de Medidas de Reabilitação Energética e QAI .....	40
3.8	Otimização Técnico-Económica.....	42
Capítulo 4 – Análise Energética do Edifício da ESAN .....		45
4.1	Caracterização do Edifício .....	45
4.2	Sistemas Consumidores de Energia .....	48
4.3	Sistemas AVAC .....	48
4.4	Perfis de Utilização .....	55
4.5	Zonamento Térmico.....	55
4.6	Análise da Resposta Qualitativa do Modelo Desenvolvido.....	56
4.7	Calibração do Modelo de Simulação .....	57
Capítulo 5 – Análise de Medidas de Reabilitação Energética .....		59
5.1	Discussão de Resultados .....	59
5.2	Medidas de Reabilitação Energética Sugeridas.....	62
5.3	Síntese .....	71
Capítulo 6 – Conclusões .....		73
6.1	Principais Conclusões .....	73
6.2	Limitações do trabalho.....	74
6.3	Propostas de Trabalho Futuro .....	75
Referências Bibliográficas .....		77
Apêndices.....		81
Apêndice I – Implantação e Marcação da Envolvente.....		83
Apêndice II – Apresentação Detalhada das Soluções Construtivas .....		87
1.	Envolvente Opaca .....	87
2.	Envolvente Envidraçada .....	92
Apêndice III – Apresentação Detalhada dos Sistemas Energéticos .....		95
1.	Sistemas de Climatização.....	95

2. Água Quente Sanitária .....	100
3. Equipamentos.....	102
4. Iluminação Interior .....	102
5. Iluminação Exterior .....	103
Anexo I – Tabela I07 (RECS).....	105
Anexo II – Densidade de ocupação/equip./Illum. ....	107
Anexo III– Necessidades de aquec. e arrefec. ....	109
Anexo IV– Ganhos Envidraçados (CET 1 e 2) .....	110
Anexo V– Gráficos Conforto (Portaria).....	111
Anexo VI– Equipamentos de climatização por setor .....	112
Anexo VII – Estratégias para Controlo dos Sistemas de Climatização .....	113
Anexo VIII– Especificações Planitherm Ultra N.....	116

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1 – Consumos de energia primária no mundo, em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), entre 1966 e 2014 .....	1
Figura 2 – Preços do petróleo entre 1970 e a atualidade em dólares .....	2
Figura 3 – Funcionamento de uma bomba de calor geotérmica .....	22
Figura 4 – Tipos de bombas de calor geotérmicas – Horizontal, Vertical, Submersa, de Circuito Aberto .....	23
Figura 5 – Variação da temperatura do subsolo, em função da profundidade durante o ano .....	23
Figura 6 – Coletor horizontal à esquerda e coletor horizontal em espiral à direita	25
Figura 7 – Disposição dos tubos dos coletores geotérmicos .....	25
Figura 8 – Coletores submersos (a serem submergidos) .....	26
Figura 9 – Diferenças entre a disposição da tubagem nos pisos radiantes.....	27
Figura 10 – Painel solar para pré-aquecimento do ar .....	30
Figura 11 - Interface do ficheiro Excel do LNEG para gerar o ficheiro climático que será utilizado no programa de simulação dinâmica.....	34
Figura 12 – Ficheiro gerado pelo ficheiro Excel do LNEG, seguido dos quatro ficheiros criados pelo DesignBuilder após a conversão .....	35
Figura 13 – Template de convenção de geometrias .....	36
Figura 14 – Isolinhas das temperaturas exteriores de projeto de Inverno e Verão a 1 e 99%, respetivamente .....	46
Figura 15 – Separador Construction com o Template das soluções construtivas definido.....	47
Figura 16 – Sistema AVAC para determinar as necessidades máximas de aquecimento e arrefecimento.....	49
Figura 17 – Representação do sistema de climatização dos Setores 2 e 3 com geotermia, piso radiante e UTA .....	50

Figura 18 – Parâmetros do circuito secundário: coletor geotérmico e bomba de água .....	51
Figura 19 – Parâmetros bomba de calor: aquecimento e arrefecimento .....	52
Figura 20 – Parâmetros das serpentinas de arrefecimento e aquecimento, respetivamente .....	52
Figura 21 – Representação do sistema de climatização no Setor 1, sem aquecimento nem arrefecimento .....	53
Figura 22 – Representação de uma sala com ventilação de extração .....	54
Figura 23 – Representação do sistema AVAC dos Bastidores .....	54
Figura 24 – Salas que se transformaram numa zona térmica única .....	56
Figura 25 – Comparação entre o modelo simplificado e a vista de corte das salas de sombreamento .....	57
Figura 26 – Variação da temperatura interior e exterior numa zona não climatizada, na primeira semana de Janeiro .....	57
Figura 27 – Localização das salas 1.3.5 (05) e 1.3.6 (06) .....	60
Figura 28 – Válvulas de abertura e fecho de caudal no coletor de retorno .....	63
Figura 29 – Válvulas de balanceamento dos caudais dos circuitos do piso radiante .....	64
Figura 30 – Pormenor da rede hidrónica do piso radiante, presente no Bastidor 1 .....	65
Figura 31 - Manivela manual para abertura das janelas da cobertura.....	68
Figura 32 – À esquerda, a única grelha de ventilação próxima do bar, na zona de refeições. À direita grelha de ventilação da cozinha. ....	71
Figura 33 – Marcação da envolvente na planta do edifício .....	84
Figura 34 – Marcação da envolvente em corte transversal do edifício, mostrando uma sala com Envolvente Exterior e Interior no mesmo teto.....	84
Figura 35 - Marcação da envolvente em corte, mostrando a parte da laje do edifício que está em contacto com o solo e a que está suspensa .....	85
Figura 36 – Pormenor da planta mostrando a parede exterior do balneário e da Oficina 1.4.2 .....	89

Figura 37 – Parede Oeste da ESAN em construção.....	92
Figura 38 - Túneis de luz Lightway Crystal em corte .....	94
Figura 39 – Planta do edifício, mostrando os setores climatizados e os bastidores .....	95
Figura 40 – Disposição dos circuitos hidráulicos em cada setor geotérmico .....	97
Figura 41 - Grelhas de insuflação: Krantz Q-S, France-Air DIR e DVC.....	98
Figura 42 - Grelha de extração: France-Air GAV 88; Válvula de extração: Australe 100 .....	98
Figura 43 – Insuflação de ar no verão e no inverno .....	99
Figura 44 – Painéis solares da fachada do edifício.....	99
Figura 45 - Refrigeração passiva.....	100
Figura 46 – Painéis solares para aquecimento de água .....	101
Figura 47 – À esquerda, biblioteca com lâmpadas T5 embutidas e suspensas. À direita, refeitório com lâmpadas fluorescentes montadas na parede.....	103



# ÍNDICE DE ESQUEMAS

---

Esquema 1 – Friso cronológico que mostra a evolução da legislação. ....	9
Esquema 2 – Sistemas do edifício em estudo regulados pela legislação em vigor e requisitos mínimos e de referência da envolvente na zona I2/V2.....	12
Esquema 3 – Características desejáveis dos sistemas de AVAC .....	18
Esquema 4 - Fatores que influenciam o conforto térmico .....	18
Esquema 5 – Diferentes funcionalidades dos sistemas de climatização.....	21
Esquema 6 – Sequência de transferência de calor para um espaço interior.....	22
Esquema 7 – Fluxograma com os passos do processo de calibração .....	37
Esquema 8 – Metodologia para a análise de medidas de reabilitação energética e QAI .....	40
Esquema 9– Método alternativo para troca de calor .....	62
Esquema 10 – Tipos de envolvente opaca presentes na ESAN .....	87
Esquema 11 – Esquema do fluxo do Ar no sistema de ventilação (aquecimento) ..	96
Esquema 12 - Esquema do fluxo do Ar no sistema de ventilação (arrefecimento) ..	96
Esquema 13 - Resumo do método de produção de água quente sanitária.....	101

## ÍNDICE DE TABELAS

---

Tabela 1 – Condições padrão de conforto térmico .....	20
Tabela 2 – Classes de eficiência energética.....	39
Tabela 3 – Perfis de utilização de ocupação/iluminação/equipamentos/AVAC usados na parametrização do modelo .....	55
Tabela 4 – Comparação entre a potência instalada e a necessidade de potência simulada .....	59
Tabela 5 – Comparativo entre os coeficientes U de referência e máximo para a região I2/V2 e o U da solução construtiva do edifício com pior performance .....	61
Tabela 6 – Consumo anual antes e depois de aplicar mais isolamento na laje de betão .....	66

## ÍNDICE DE QUADROS

---

Quadro 1 – Vidros pertencentes à envolvente exterior .....	93
Quadro 2 – Vidros interiores não pertencentes à envolvente do edifício.....	94

# NOMENCLATURA

---

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (Associação Americana dos Engenheiros de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado)

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

DL – Decreto-Lei

ESAN – Escola Superior Aveiro Norte

EPDB - *Energy Performance of Buildings Directive* (diretiva europeia para o desempenho energético dos edifícios)

EPS – Poliestireno Expandido

ETICS - *External Thermal Insulation Composite Systems* (Sistema de Isolamento Térmico Exterior)

GES - Grande Edifício de comércio e Serviços

IEE - Índice de Eficiência Energética

LED – *Light Emitting Diode*

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.

NUTS III - Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos, de nível III

NZEB – *Near-Zero Emissions Building* (Edifícios com Necessidades Energéticas Quase Nulas)

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS - Regulamento de Desempenho dos Edifícios de Comércio e Serviços

RQSECE - Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema nacional de Certificação de Edifícios

UA – Universidade de Aveiro

UE - União Europeia

XPS – Poliestireno Extrudido

# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O consumo de energia crescente e a consequente escassez de fontes de energia é um problema da atualidade e dos últimos anos, pelo impacto ambiental, social e económico. Os países em desenvolvimento, especialmente a China e a Índia, estão agora a passar pelo processo de se equiparem, tal como aconteceu com os países desenvolvidos, daí o crescimento das necessidades energéticas (Figura 1). É necessário encontrar uma forma de continuar a satisfazer as necessidades humanas de uma forma sustentável, para que não se consumam as fontes de energia até à exaustão.

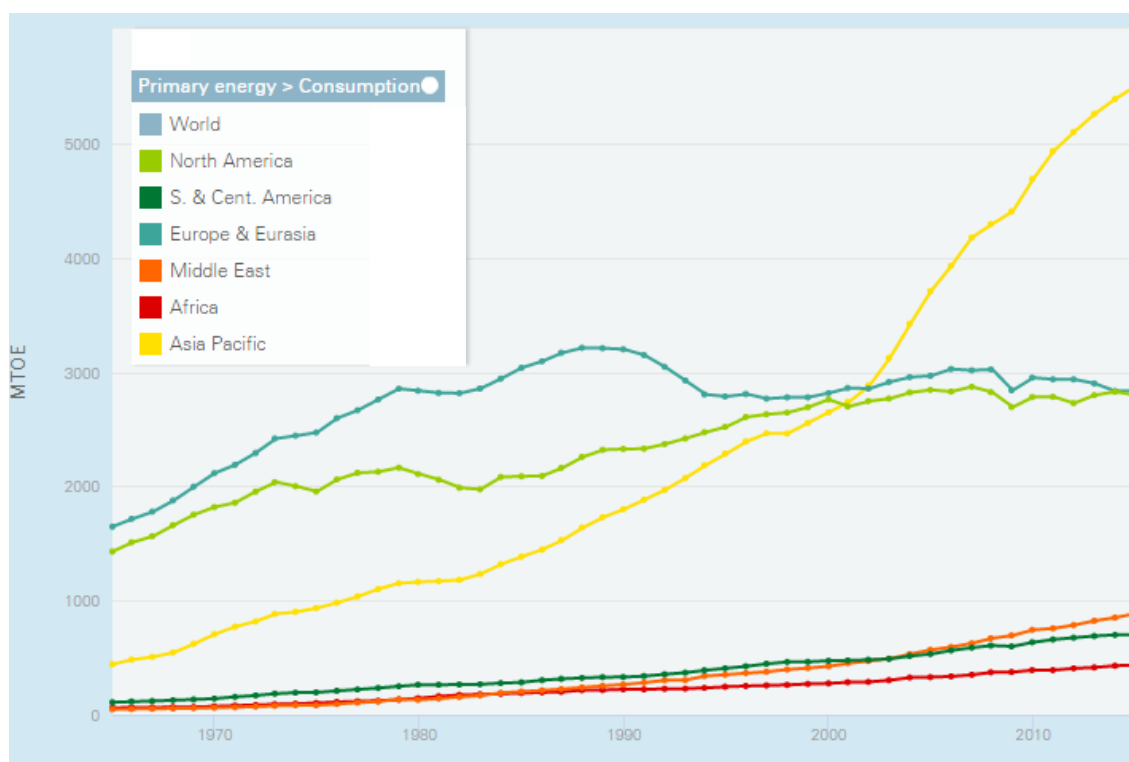


Figura 1 – Consumos de energia primária no mundo, em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), entre 1966 e 2014 (BP, 2016)

“A eficiência energética é a otimização que realizamos no consumo de energia” (ADENE, Eficiência Energética, 2016). Sobretudo a partir da década de 1970, começou a haver uma mudança na forma de pensar, quando o preço do petróleo aumentou rapidamente (Figura 2), obrigando a serem tomadas medidas de poupança energética a vários níveis, por exemplo na indústria automóvel americana. O que se pretende com eficiência não é simplesmente uma diminuição no consumo energético, abdicando de benefícios, mas com menos energia manter ou aumentar os níveis de conforto.

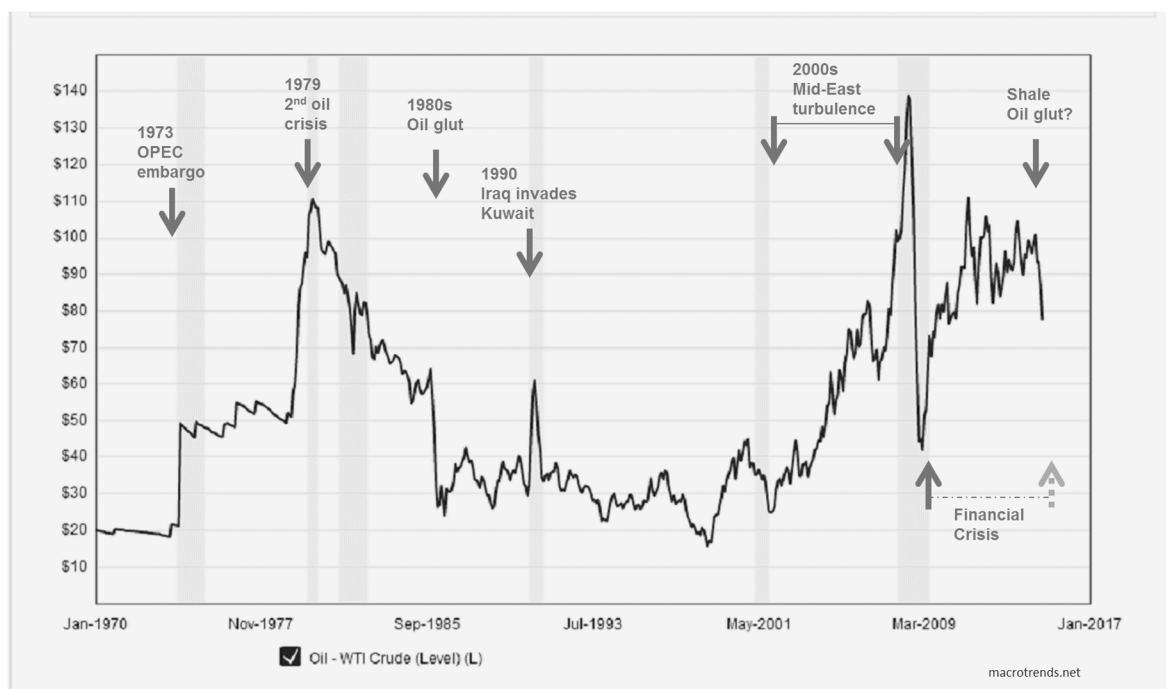


Figura 2 – Preços do petróleo entre 1970 e a atualidade em dólares (Macrotrends, 2016)

A melhoria da eficiência energética estendeu-se a todo o tipo de equipamentos consumidores de energia, inclusivamente aos edifícios, que são sistemas energéticos complexos, dado que contém uma fronteira por onde há trocas de calor, podem armazenar energia na sua massa e neles podem existir diferentes tipos de atividades em que há dispêndio de energia. Esta melhoria é um processo contínuo que se tornou obrigatório pela criação de iniciativas para limitar os problemas ambientais como a Convenção de Genebra (1979), o Protocolo de Montreal (1987), a Cimeira da Terra (1992), o Protocolo de Quioto (1997) que levaram à criação da Diretiva para a Eficiência Energética em Edifícios (EPBD, 2003) ao nível da UE que levou à criação das leis que regulam os edifícios em cada país. Na sequência das exigências legais tem havido uma forte investigação em relação a novas tecnologias e paradigmas na arquitetura, construção e climatização de edifícios.

É nessa forma que se estão a desenvolver sistemas de climatização e edifícios confortáveis, com o máximo de eficiência energética e com formas de utilizar energia que seja proveniente de fontes renováveis e produção local. Dado que o custo de produção (na realidade trata-se de conversão) de energias renováveis localmente é maior do que a produção centralizada, a postura mais inteligente é sempre a de otimizar a eficiência energética antes de começar a tentar produzir energia através de painéis fotovoltaicos.

O tempo do ser humano morar em cavernas, cabanas construídas artesanalmente, e das casas feitas com uma parede única de tijolo já pouca relação tem com a realidade atual nos países desenvolvidos. Esse tipo de habitação foi deixando de dar resposta às necessidades de conforto atuais. Os projetos de novos edifícios têm uma complexidade cada vez maior, o que leva a que sejam multidisciplinares.

A Arquitetura tem como papel desenhar e planejar o edifício, tendo em conta o enquadramento no terreno, a organização do espaço, refletindo considerações estéticas e funcionais e combinando materiais, luz, cores e sombra. A Engenharia Civil, tem um papel de cariz mais técnico, ocupando-se da parte da construção propriamente dita, do cálculo de cargas estruturais do edifício, da rede de águas e do comportamento térmico passivo do edifício. Já a Engenharia Mecânica é responsável pelos sistemas ativos de climatização do edifício. Esta articulação é bastante delicada que deve ser feita com o máximo de equilíbrio, bom senso colaboração e comunicação para o que o projeto seja bem-sucedido. Nenhuma das áreas é, aqui, mais importante que a outra e não devem competir mutuamente, mas completar-se.

No entanto não acabam aqui os requisitos para um bom projeto. Uma instalação correta dos equipamentos é obrigatória para que todo o esforço feito resulte em satisfação. Uma fiscalização da obra constante é importante para garantir que não se chegue ao final da construção do edifício com problemas que poderiam ter sido detetados e nunca serão corrigidos, pois obrigariam a obras dispendiosas. A instalação dos sistemas deve ser por isso da responsabilidade de pessoal qualificado, com profissionalismo para desempenhar essa tarefa, que ditará a eficácia e a eficiência dos sistemas de climatização. A manutenção dos equipamentos de climatização é outro ponto de grande relevância, pelo facto das condições de eficiência, eficácia e salubridade diminuírem ao longo do tempo, quando as manutenções preconizadas pelo fabricante não são respeitadas, sendo algo vulgar.

A motivação na escolha do objeto de estudo deste trabalho prende-se com o facto de ser um edifício único, recente, com tecnologias modernas e pouco convencionais com vista a obter conforto, com um baixo consumo energético. Por outro lado, o interesse no

edifício está no facto de não ter sido, até à data, objeto de estudos relativos ao desempenho energético, desde a sua construção.

## **1.2 OBJETIVOS DO PROJETO**

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma avaliação energética com vista a melhorar o conforto térmico da Escola Superior Aveiro Norte (ESAN), através dos seguintes pontos:

- Recolher informações do edifício relevantes à sua caracterização, como a sua geometria, a composição da envolvente, perfis de utilização e sistemas energéticos;
- Criar modelo dinâmico de simulação, com base nos dados acima citados;
- Calibrar o modelo para que se possa considerar representativo da realidade;
- Propor após simular sobre o modelo base, medidas de otimização respeitantes aos sistemas de climatização e ao próprio edifício.

## **1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO**

No capítulo 1, é feita uma contextualização do trabalho em relação à realidade atual, são definidos os objetivos que irão conduzir o trabalho às suas conclusões.

No capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica à legislação que irá servir de base ao trabalho e às tecnologias dos sistemas de climatização que existem no edifício.

No capítulo 3, é definida a metodologia que é usada para se realizar uma análise energética de um edifício, como a que é feita neste trabalho.

No capítulo 4, é apresentado o caso de estudo e explicada detalhadamente a construção do modelo de simulação dinâmica, que dará origem aos resultados que serão analisados no capítulo segundo.

No capítulo 5, é feita uma análise crítica do modelo e são analisados e discutidos os resultados da simulação do modelo. Seguidamente, são sugeridas intervenções no sistema de climatização do edifício e no próprio edifício, com o objetivo de resolver os problemas de conforto térmico conhecidos e melhorar o desempenho energético.



No capítulo 6, são retiradas as conclusões desta dissertação e é feita uma análise crítica do contributo deste trabalho para a melhoria da qualidade de vida dentro do edifício. São, ainda, feitas propostas de trabalhos futuros no âmbito do tema do projeto que poderão levar a um nível de conhecimento que leve a uma melhor eficiência energética deste e de outros edifícios.



## CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é feita a revisão bibliográfica dos assuntos relevantes para criar a metodologia que irá ser usada no caso de estudo.

O primeiro ponto a ser pesquisado é a **legislação** que regula o comportamento térmico dos edifícios que engloba tanto as soluções construtivas da envolvente do edifício, como os seus sistemas energéticos e, ainda, define avaliação energética e especifica como e por quem deve ser feita.

Seguidamente será abordado o processo de **auditoria energética**, que é o passo que dá origem ao certificado energético, com a respetiva classe energética do edifício que passou a ter carácter obrigatório pela legislação que foi anteriormente mencionada.

A **simulação dinâmica de edifícios** é o terceiro assunto da revisão bibliográfica e surge na sequência da recolha de dados da auditoria energética, que são introduzidos num programa de simulação de acordo com os requisitos que são definidos pela legislação em vigor.

Após o modelo da simulação ser sujeito a uma calibração para os consumos simulados estarem suficientemente próximos dos consumos efetivos, dependendo da classe energética do edifício, podem ser aplicadas no modelo alterações e simuladas novamente para se medir o seu impacto para que possam ser sugeridas medidas de **reabilitação energética** viáveis, com vista a melhorar os consumos energéticos e, consequentemente, colocar o edifício numa classe energética superior.

Por último, é feita uma revisão bibliográfica aos **sistemas de climatização** que existem no edifício a estudar, para um melhor entendimento do seu funcionamento que levará a uma caracterização dos mesmos na fase de construção do modelo de simulação energética e na fase de discussão de resultados e proposta de melhorias corretivas. Dado que estes sistemas têm como objetivo melhorar o conforto térmico, é também aqui que é revisto este tema, dado que existem modelos para prever esta sensação que é subjetiva e de carácter qualitativo, através de parâmetros que podem ser medidos.

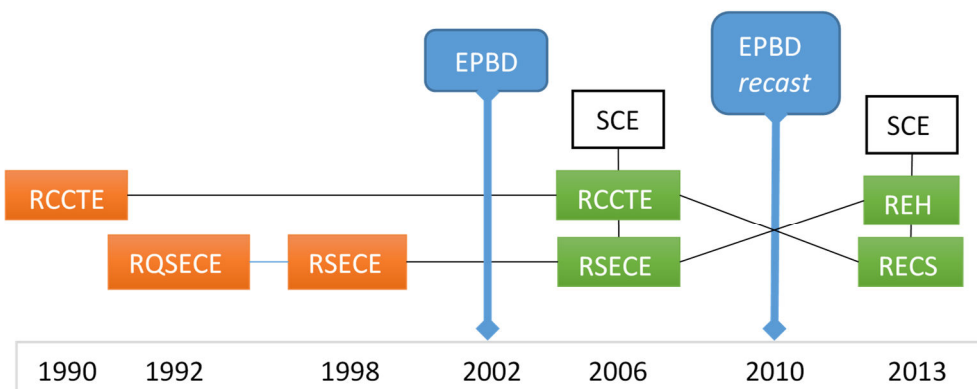
## 2.2 LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO

Numa perspetiva de enquadrar melhor o tema, pode-se referir que a regulamentação dos sistemas energéticos dos edifícios, em Portugal, existe desde 1990. A 6 de fevereiro de 1990 foi publicado em Diário da República o decreto-lei 40/90, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que tinha como principais objetivos a “satisfação das condições de conforto térmico nos edifícios sem necessidades excessivas de energia” e “garantir a minimização de efeitos patológicos na construção derivados das condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente”, (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 04/04/2006).

Este regulamento era referente apenas ao edifício em si, faltando, “regulamentar as condições em que se definem as dimensões e se devem processar a instalação e a utilização de equipamentos e sistemas nos edifícios com sistemas [de climatização] (...)”, (Decreto-Lei n.º 118/98 de 07/05/1998). Por isso, foi aprovado o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE), pelo DL 156/92 (de 29/07/1992), que não chegou a ser aplicado e que visava regulamentar a instalação de sistemas de climatização em edifícios. Procurava introduzir algumas medidas de racionalização, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício para, sobretudo, evitar o seu sobredimensionamento, (Decreto-Lei n.º 79/2006, de 04/04/2006).

Na prática, “a aplicação do RSECE veio a demonstrar alguma indiferença por parte da maioria dos intervenientes no processo” e, por outro lado, “acentuou-se significativamente a tendência de crescimento da procura de sistemas de climatização no nosso país” o que levou a uma “taxa de crescimento média, de 12 % por ano, dos consumos de energia de entre todos os sectores da economia nacional, nomeadamente para o subsector dos serviços”, (Decreto-Lei n.º 79/2006, de 04/04/2006). Em conjunto com o protocolo de Quioto, de 1997, surgiu a necessidade de substituir o RQSECE de 1992 pelo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), através do DL 118/98 (de 7/05/1998).

A certificação energética de edifícios foi tornada obrigatória apenas desde 2006, ou seja, nos últimos 10 anos, devido à Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios, EPBD 2002/91/CE (de 16/12/2002), imposta pela União Europeia (UE), como é possível conferir no Esquema 1.



Esquema 1 – Friso cronológico que mostra a evolução da legislação. A laranja, os decretos-lei que foram aprovados em Portugal, mas não foram aplicados. A azul, as diretivas da UE. A verde, os DL que foram aprovados e aplicados.

Com a diretiva EPBD de 2002, foram aprovados a 4 de abril de 2006, em Portugal os Decretos-Lei 78/2006 (Sistema Nacional de Certificação de Edifícios - SCE), 79/2006 (RSECE), 80/2006 (RCCTE) que definiam parâmetros de desempenho energético e qualidade do ar ao nível do edifício, eficiência e características mínimas, relativamente aos sistemas de climatização e padrões de qualidade mínimos no que diz respeito à construção do edifício. Tornou obrigatória a emissão de certificados energéticos por técnicos certificados e que os requisitos mínimos sejam cumpridos antes da licença para utilização do edifício e veio impor condições de Qualidade de Ar Interior (QAI) severas que tornavam necessários os sistemas de ventilação mecânicos, sendo o patamar máximo permitido para a concentração do CO<sub>2</sub> de 900 ppm.

Posteriormente, a diretiva europeia de 2002 foi revista dando origem à EPBD-*recast* 2010/31/EU (de 19/05/2010), levando à atualização da regulamentação em Portugal em 2013, com o DL 118/2013 (SCE de 20/08/2013). É dito no SCE que se passa a privilegiar a ventilação natural em vez da mecânica, por uma questão de eficiência e poupança energética. Isto é conseguido através da possibilidade de ter janelas a abrir para o exterior, desligando-se a ventilação. As auditorias de QAI foram eliminadas e o nível máximo de CO<sub>2</sub> aumentou de 900 para 1250 ppm. No entanto, segundo (Agência Portuguesa do Ambiente, 2009), a partir de uma concentração de dióxido de carbono de 1000 ppm, é considerada uma baixa ventilação.

Com o SCE de 2013, surgiram os substitutos do RCCTE (aplicado ao edifício) e do RSECE (aplicado aos sistemas de climatização), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH - Portaria 349-B.2013 de 29/11/2013) e o

Regulamento de Desempenho dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS - Portaria 349-D.2013 de 2/12/2013), que não são diretamente comparáveis por terem âmbitos diferentes.

Esta legislação levou a alterações de exigência relativamente ao consumo energético dos sistemas de climatização, levando a um método de cálculo para a insuflação de ar nos edifícios que tem em conta os horários de ocupação das salas, em detrimento de um cálculo prescritivo que apenas tem em conta o número de ocupantes e a respetiva atividade; aumentou o nível de dióxido de carbono permitido nas salas, diminuindo a quantidade de ar a insuflar; o desempenho do edifício passou a ser comparado com uma solução de referência; passaram a ser incluídos na obrigatoriedade de certificação edifícios de 500 m<sup>2</sup> (piscinas, supermercados/hipermercados, centros comerciais) e, até, de 250 m<sup>2</sup> (no caso de entidades públicas abertas ao público), em vez de 1000 m<sup>2</sup>; e, a partir de 2020 todos os edifícios deverão ter um balanço de emissões que tenda para a neutralidade (NZEB – *Near-Zero Emissions Building*), o que significa que deverão produzir a maior parte da energia que consomem, utilizando fontes renováveis.

No entanto, a designação NZEB é omissa na definição de “emissões quase-nulas”, uma vez que a EPBD não estabelece o nível de aproximação ao zero do balanço energético dos edifícios, cabendo a cada estado encontrar uma definição própria para a designação (Kurnitski, 2013). Existem outros tipos de omissões ao nível do que é considerado nos cálculos do balanço energético, pois podem entrar apenas consumos com aquecimento e não os de arrefecimento, por exemplo; ou a nível da energia renovável, se é tida em conta a parcela de energia renovável da eletricidade da rede, ou se pelo contrário, se se refere apenas à energia renovável que é produzida localmente.

O conceito de avaliação energética é definido pela atual legislação como “a avaliação detalhada das condições de exploração de energia de um edifício ou fração, com vista a identificar os diferentes vetores energéticos e a caracterizar os consumos energéticos, podendo incluir, entre outros aspetos, o levantamento das características da envolvente e dos sistemas técnicos, a caracterização dos perfis de utilização e a quantificação, monitorização e a simulação dinâmica dos consumos energéticos” (Decreto-Lei 118/2013 de 20/08/2013).

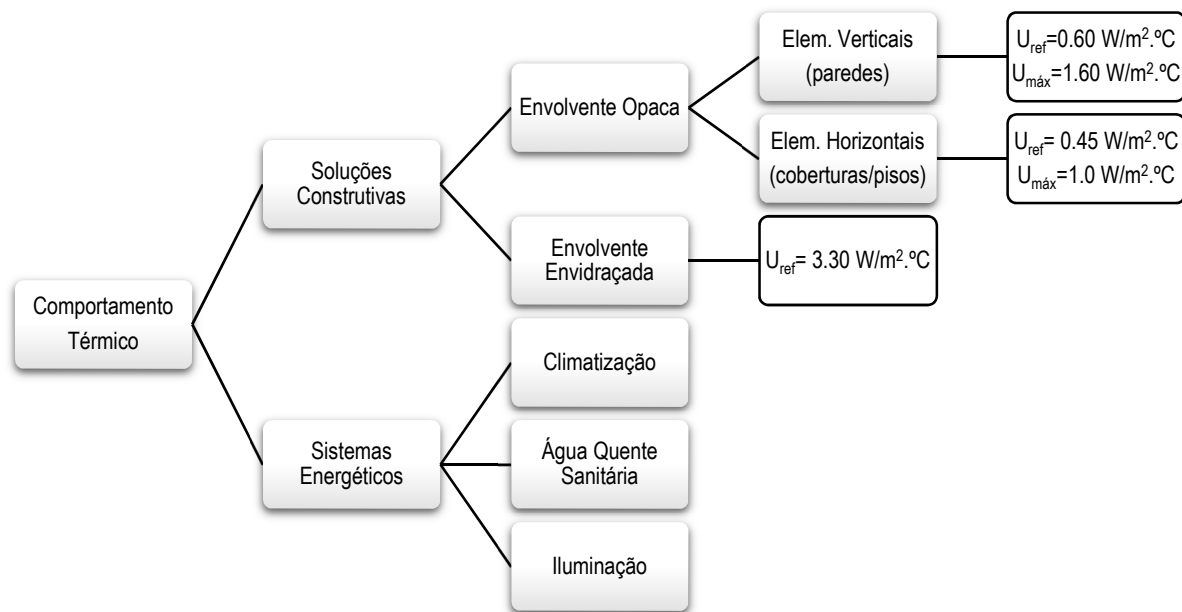
O zonamento climático, segundo o Despacho 15793-F.2013 (de 03/12/2013) é um dos fatores a ter em conta logo depois de conhecer quais os edifícios que estão abrangidos pela regulamentação, pelo facto do edifício surgir após a escolha do local onde está ou será implantado. Caso seja usado um software de simulação, terá de se usar um ficheiro climático que é gerado pelo CLIMAS-SCE - Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, de acordo com o DL 118/2013 (de 20/08/2013).

No que diz respeito à determinação da classe energética do edifício, o Despacho 15793-J.2013 (de 3/12/2013) é o que explicita as regras para a sua determinação. A classe energética é um dos elementos que consta no certificado e pré certificados e que evidencia o desempenho energético do edifício. No caso de edifícios licenciados após a entrada em vigor do DL 118/2013 (de 20/08/2013), o requisito mínimo para o edifício não necessite de um Plano de Racionalização Energética é ser de classe B-, cujas medidas são de aplicação obrigatória para que o edifício chegue a esse mínimo. No caso de Grandes Edifícios de Serviços existentes, a classe mínima, neste momento é a C.

Os cálculos são feitos tendo em conta as indicações do RECS, que estipula as soluções de referência que vão ser introduzidas na simulação para chegar ao Indicador de Eficiência Energética (IEE) de referência com o qual será comparado o IEE efetivo, proveniente do histórico de faturas de energia ou alternativamente, no caso de não haver acesso a essas informações, com o IEE previsto, que é obtido através de simulação dinâmica multizona.

Em suma, a análise energética do edifício em estudo tem em conta diversos parâmetros que são regulamentados, como os requisitos da envolvente dos edifícios e a performance dos sistemas energéticos (Esquema 2), daí ser indispensável conhecer o enquadramento legal, antes de realizar a análise propriamente dita. Para além destes itens, a legislação também regula a performance de outros sistemas que não estão presentes no edifício em estudo, como elevadores e escadas rolantes, sistemas locais de produção de energia renovável.

Conhecido o panorama legal que estipula as normas referentes ao desempenho energético dos edifícios que dão origem à necessidade da certificação de edifícios, é de seguida apresentado o resultado da pesquisa referente à auditoria energética de edifícios que é um dos passos necessários para certificar um edifício.



Esquema 2 – Sistemas do edifício em estudo regulados pela legislação em vigor e requisitos mínimos e de referência da envoltente na zona I2/V2, (Despacho n.º 349-D.2013, de 02/12/2013)

## 2.3 AUDITORIA ENERGÉTICA A EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS

A auditoria é um “exame detalhado das condições de utilização de energia numa instalação”, de acordo com a ADENE. Os motivos para a realização das auditorias podem prender-se com a necessidade de diminuir os consumos energéticos com vista a reduzir recursos financeiros, numa perspetiva de tornar uma empresa mais competitiva, ou diminuir despesas do Estado no caso de edifícios públicos. Assim sendo, consoante a motivação para a auditoria, serão estabelecidos diferentes objetivos, que condicionarão a abordagem e os critérios (Oliveira, 2015). Dependendo do tipo de empresa, pode ser importante passar para o público uma imagem de preocupação ambiental, por questões de marketing.

Um dos dados que é necessário conhecer é o consumo de energia, que é possível obter das faturas da eletricidade, gás ou outro tipo de energia adquirida. No entanto, só por si, não é suficiente por não mostrar o estado de utilização dos equipamentos onde essa energia é gasta. Assim, é necessário fazer uma auditoria energética detalhada (ADENE, Auditoria Energética, 2016).



Para ser feita uma auditoria, é necessário passar por várias fases: o planeamento, o trabalho de campo, o tratamento dos dados recolhidos e, por fim, a elaboração de um relatório final.

A fase de planeamento, inicia-se com o conhecimento da organização a auditar, nomeadamente ao nível das atividades e sistemas existentes na organização; numa reunião com os responsáveis administrativos que tomam decisões na organização, na gestão da energia e possam influenciar o comportamento dos restantes colaboradores; no estudo das carências mais graves que possam ser intervencionadas.

O trabalho de campo, é um levantamento energético feito no local com vista a recolher o máximo de dados possíveis relativos a equipamentos, iluminação, ocupação, sistemas de climatização e perfis de utilização, realizando medições com equipamentos específicos. Essa visita deve ser feita de uma forma planeada de forma a serem garantidas as condições para recolher todos os dados listados para recolha. Alguns exemplos de equipamentos que poderão ser usados são o termómetro, o higrómetro, os anemómetros, luxímetros e pinças amperimétricas e analisadores de energia para obter medições de temperatura, humidade relativa, velocidade do ar, intensidade de luz, de corrente e consumos energéticos instantâneos, respetivamente.

Após a recolha de dados relevantes para a auditoria, segue-se a fase de análise dos mesmos. Geralmente os dados recolhidos em bruto necessitam ser descarregados dos equipamentos de recolha para o computador. É aí que se vão escolher aqueles que são os relevantes para o estudo em causa e remover da análise possíveis falhas ou anomalias, para serem criados gráficos que deverão ser interpretados. Tendo a informação devidamente organizada, é possível desagregar os consumos medidos segundo o tipo de energia consumida, por zona de utilização ou a porção de energia que gastam em relação ao total, para entender quais os maiores equipamentos consumidores, que serão potencialmente os primeiros a sofrer propostas de intervenção na fase seguinte.

Por último, a fase da criação do relatório da auditoria é aquela em que são calculados os indicadores energéticos relevantes, é identificado aquilo que possa ser intervencionado de forma viável e onde irá haver maiores poupanças energéticas, e quanto serão essas poupanças. Será feita uma análise ao retorno do investimento da intervenção para determinar a viabilidade das alterações. As medidas de melhor do desempenho energético podem ser aplicadas não só ao nível dos equipamentos, como também na incorporação de fontes renováveis. Faz parte, também, da função do auditor conhecer e saber indicar eventuais mecanismos de financiamento ou subsídios para apoiar a implementação das medidas propostas, (Oliveira, 2015).

Durante a fase de auditoria, o processo de simulação energética ocorre para que se possa redigir um relatório com os resultados do estudo, reunindo-se assim condições de iniciar o estudo da simulação energética de edifícios.

## **2.4 SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS**

A simulação energética de edifícios é feita usando software de simulação dinâmica cujos resultados da simulação podem ser usados para dimensionar os sistemas de climatização, durante a fase de projeto do edifício, ou identificar a classe energética do edifício, na fase de licenciamento (no caso de reabilitações e ampliações) em que são utilizados valores nominais ou em auditorias, que são usados os valores medidos (portanto, não-nominais) para calibrar o modelo criado e analisar o impacto de diferentes medidas de melhoramento da eficiência energética para poderem ser propostas no âmbito do Plano de Racionalização Energética. A simulação dinâmica tem em consideração dados, pelo menos horários, e simula o comportamento do edifício ao longo de um ano típico de utilização, de forma precisa (Martins, Métodos de Simulação Dinâmica, 2015).

A Portaria 349-D.2013 (3/12/2013), refere que para os GES, no caso de um edifício novo deve ser feita uma simulação dinâmica multizona. Caso o edifício exista, deverá utilizar-se o consumo efetivo para aferir o Índice de Eficiência Energética (IEE), que dará origem à classe energética do edifício. É, também, dito que a simulação deve ser feita por um programa acreditado pela norma ASHRAE 140, que possa modelar mais do que uma zona, de hora a hora, por um ano civil inteiro, a variação das cargas térmicas internas de iluminação/ocupação/equipamentos e os perfis e ajustes dos sistemas de climatização. Para além disso, também deve modelar o efeito da massa térmica do edifício e a recuperação de calor do ar de rejeição. No caso de pequenos edifícios de serviços é aceitável fazer uma simulação dinâmica simplificada, que considera que o espaço inteiro simulado é uma única zona. Estes são os requisitos mínimos exigidos pela legislação portuguesa.

Segundo Martins (2015), uma zona não é um espaço físico, mas um volume de ar com temperatura uniforme que contém superfícies que transmitem e armazenam calor na sua fronteira e podem também pertencer ao interior da zona. No caso de ser feita uma simulação monozona (simplificada) não será possível conhecer a distribuição das cargas térmicas no edifício, pois considera-se que está distribuída uniformemente pela mesma zona.

Os dados com que o programa de simulação trabalha são dados climáticos relativos à localização do edifício, com um modelo de variação de temperaturas, exposição solar e vento que variam ao longo do dia e durante todas as estações do ano. Para além desses, é necessário modelar a estrutura do edifício, introduzir todos os elementos que constituem a envolvente do edifício, elementos que possam causar sombreamento ao edifício, como árvores ou outros edifícios, dados relativos às atividades que tomam lugar nas diferentes zonas do edifício, como ocupação, iluminação e perfis de utilização horários. Os sistemas responsáveis pela climatização do edifício são também introduzidos para que seja feito um balanço energético das cargas térmicas em períodos horários ou sub horários. Com isso, é possível no final ver gráficos com vários outputs como a evolução da temperatura ao longo do dia, quais são as partes da envolvente por onde há transferência de calor, ou uma estimativa do consumo energético do edifício ao longo de um ano.

Existem várias opções de programas que cumprem a norma ASHRAE 140-2004 e, portanto, são aceitáveis para fazer simulações energéticas em Portugal. A título de exemplo, podem-se enumerar o TRNSYS (Transient Simulation Program), o HAP (Hourly Analysis Program) da empresa de AVAC Carrier, o IES (Integrated Environmental Solutions), o *EnergyPlus*, que é a junção dos programas BLAST e DOE-2 (do Departamento de Energia dos Estados Unidos) e o *DesignBuilder*, que é uma interface alternativa para o *EnergyPlus*, que é o responsável pelos cálculos da simulação. É importante, ainda, referir que a escolha de um programa depende de vários fatores, pois apesar de cumprirem a mesma norma, nem todos têm as mesmas funcionalidades, logo algumas aplicações serão mais adequadas do que outras, dependendo do objeto de estudo.

O *DesignBuilder*, utilizado neste trabalho, possui como principais vantagens, uma interface mais acessível que o *EnergyPlus* que permite não só introduzir os dados de forma mais fácil, como possui ferramentas para modelar o edifício tridimensionalmente. Como limitações refere-se, o facto de certas funcionalidades que o *EnergyPlus* tem, não estarem disponíveis; nem todas os sistemas da AVAC são modeláveis, pois o programa não oferece essa possibilidade; e a nível de performance, o programa não tira partido por completo das possibilidades de processamento dos computadores atuais e, para além disso, não permite ter mais do que um ficheiro aberto em simultâneo.

Após se realizar a simulação, é possível propor medidas de reabilitação energética, no caso do desempenho ser inferior ao desejado. Desta forma, passa-se ao capítulo que investiga as razões e a forma como essa reabilitação é feita.

## 2.5 REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS

Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia, cerca de 40% dos consumos totais de energia vão para os edifícios, sendo a maior parte dessa energia gasta em climatização, na Europa. Três em cada quatro edifícios existentes não cumprem os requisitos de eficiência da EPBD. Como tal, existe muito por onde melhorar no quesito da eficiência energética, fazendo todo o sentido refletir sobre reabilitação energética de edifícios.

No caso de Portugal, como o clima é temperado, os consumos dos edifícios não chegam a 30%, sendo a energia elétrica a mais consumida (55%) e o gás natural apenas 10%, (DGEG, 2015).

Uma vez que uma porção significativa dos edifícios em Portugal é bastante antiga, e nem sempre é feita uma conservação cuidada dos edifícios, isso leva a uma degradação do desempenho energético dos edifícios, sendo por vezes é necessário realizar intervenções de reabilitação dos edifícios. No que diz respeito à melhoria do edifício em si, é possível melhorar o isolamento térmico da envolvente do edifício, tanto opaca, como envidraçada e existem estratégias para interromper pontes térmicas, através do isolamento da face exterior das paredes e cobertura com o sistema ETICS, que é uma camada composta e contínua de materiais.

A reabilitação refere-se não só a fazer obras, mas também a alterar sistemas energéticos, como sistemas de climatização, produção de água quente sanitária, produção local de energias renováveis e a modificar comportamentos dos utilizadores. A simples educação para o uso racional da energia é um dos pontos bastante importantes, pelo facto de não ser preciso despende de dinheiro e, ainda assim, melhorar a eficiência energética, não sendo ainda assim, uma tarefa fácil e com resultados imediatos.

Outra razão para a reabilitação prende-se com o facto de a construção de novos edifícios, em Portugal, ter diminuído drasticamente nos últimos anos, devido a condições económicas desfavoráveis, e o facto de alguns edifícios têm características históricas de interesse que devem ser preservadas, o que leva a que se opte por reabilitar em vez de construir de novo.

Apesar de os edifícios existentes não serem obrigados a cumprir os requisitos de comportamento térmico ou de eficiência dos sistemas, caso seja feita uma grande intervenção ou ampliação (que custe mais do que 25% do valor do edifício), passa a ser obrigatório o edifício estar em conformidade com esses requisitos, pois é necessário fazer uma nova certificação energética.

Todo este esforço tem como objetivo a diminuição do uso de energia elétrica, a melhoria do conforto dos utilizadores e, em última instância, a redução das importações na balança comercial do País e do efeito negativo das atividades humanas sobre o ambiente.

## **2.6 SISTEMAS DE AVAC**

### **2.6.1 CONFORTO TÉRMICO**

Um sistema de AVAC é um conjunto de tecnologias destinadas à climatização de espaços fechados, ocupados por pessoas. Pode ser aplicado tanto a edifícios, como a habitáculos de automóveis e tem um conjunto de características desejáveis (Esquema 3). Por climatização, refere-se à manipulação da temperatura e humidade que sejam adequadas aos organismos que habitam o local e que se traduzem no conforto térmico. Na realidade, o conforto térmico é afetado por diversos fatores, incluindo alguns que o AVAC não influencia (Esquema 4), como a idade e o sexo, e está intimamente relacionado com a transmissão de calor entre o corpo e o ambiente (Yousef Al horr, 2016).

O metabolismo e o vestuário são fatores relativos aos seres humanos, alteram a forma como a sensação de conforto térmico é percebida. O sistema de AVAC não pode alterar esses parâmetros, mas pode ser regulado em função deles. Um exemplo é o caso das piscinas, em que as pessoas estão com o corpo parcialmente descoberto e molhado e as condições de conforto térmico são ainda mais sensíveis, pois uma ligeira alteração nos parâmetros leva a grandes diferenças nas taxas de transferência de calor do corpo para o ambiente. Outro aspeto que tem influência no conforto térmico é a habituação à temperatura, que provoca uma sensação térmica diferente no momento em que se muda de ambiente (Martins, Conforto Térmico, 2015).

A nível de convecção, a velocidade do ar tem um efeito preponderante no coeficiente de transferência de calor. Uma convecção forçada (com o ar ambiente em movimento) é mais eficaz do que uma convecção natural (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2012). Como a convecção também é mais eficiente entre uma superfície e um líquido do que com o ar, também é uma variável importante no conforto térmico se o indivíduo tem ou não a pele molhada.



Esquema 3 – Características desejáveis dos sistemas de AVAC



Esquema 4 - Fatores que influenciam o conforto térmico

Outro fator relevante, é a transferência de calor por radiação, que tem a particularidade de aquecer as pessoas, sem variar a temperatura do ar. Assim sendo, é possível ter uma temperatura baixa e considerada desconfortável, mas ao mesmo tempo sentir calor, pois a radiação solar, ou de qualquer outro objeto radiante, transfere calor para o corpo, aquecendo-o (Martins, Conforto Térmico, 2015). Com a radiação tem direção e

ângulo de incidência, é possível ter frio a calor ao mesmo tempo tendo, da mesma forma, desconforto térmico (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2012). É o caso das lareiras, que emitem uma radiação elevada num sentido, causando uma sensação de calor na parte do corpo que está exposta à radiação, mas com frio na parte que está orientada no sentido oposto (Martins, Conforto Térmico, 2015).

Outros fatores que influenciam a forma como se percebe a temperatura, mas não podem ser regulados pelo sistema AVAC; antes o sistema é que tem de variar com eles, são os fatores psicológicos, que variam de indivíduo para indivíduo, fatores sociais, como a naturalidade do indivíduo, questões de saúde, que podem fazer o indivíduo sentir frio, quando na realidade está uma temperatura agradável para os outros e até mesmo o facto de o indivíduo ter saído de um ambiente com condições às quais estava aclimatado e passar para outro ambiente.

Quando necessário, devem existir sistemas AVAC preparados para climatizar os espaços nos locais de trabalho, para que a produtividade, o conforto e a dignidade dos colaboradores sejam assegurados. Condições ambientais adversas prejudicam a motivação, a concentração e provocam mal-estar, tonturas, olhos irritados, tensão arterial elevada, stress e insatisfação no local de trabalho. O modelo psicológico de Maslow, explica que em teoria, as necessidades básicas e fisiológicas são prioritárias, em relação às necessidades de realização pessoal.

Dependendo do cuidado no desenho do sistema e na manutenção, pode ser uma mais valia na QAI, dado que poderá filtrar impurezas e poluentes que possam existir na localização do edifício e que ficam retidos nos filtros, que devem ser mudados conforme preconizado pelo fabricante. Pode melhorar a QAI ao renová-lo quando o teor de dióxido de carbono excede um determinado nível que provoca, também, sonolência, dores de cabeça, desconcentração, desmotivação e stress.

O conforto térmico é uma sensação subjetiva. Segundo a norma ISO 7730 (1994), é definida como uma “condição mental que expressa satisfação com o ambiente do ponto de vista térmico”. O autor P.O. Fanger criou, em 1967, o modelo para calcular o Voto Médio Previsto (PMV, do inglês *Predicted Mean Vote*) para quantificar o conforto térmico, utilizando uma escala de -3 a 3, (Martins, Conforto Térmico, 2015).

O PMV é calculado, utilizando uma fórmula complexa, que é função de 4 parâmetros ambientais (velocidade do ar [ $v_{ar}$ ], temperatura média radiante [ $T_{rad}$ ], temperatura de bolbo seco [ $T_{db}$ ] e humidade relativa [ $\phi$ ]) e 2 parâmetros pessoais (taxa metabólica [ $M$ ] e índice de vestuário [ $I_{cl}$ ]). Fanger também criou um modelo para determinar a percentagem prevista de insatisfeitos (PPD, do inglês *Predicted Percentage*

*Dissatisfied*), a partir do PVM, que permitiu concluir que para as condições em que o PVM é 0 (conforto neutro), existe uma minoria de 5% que estará sempre insatisfeita com as condições de conforto, (Martins, Métodos de Simulação Dinâmica, 2015). Segundo a norma ASHRAE 55, os valores padrão para os parâmetros acima mencionados são os apresentados na Tabela 1.

Dado que a fórmula de Fanger é complexa de se calcular, existem outras formas de determinar o PVM, como o uso de tabelas e programas de computador que o calculam com base nos parâmetros introduzidos, sendo o código disponibilizado na norma ISO 7730 (1994).

Tabela 1 – Condições padrão de conforto térmico (ASHRAE 55)

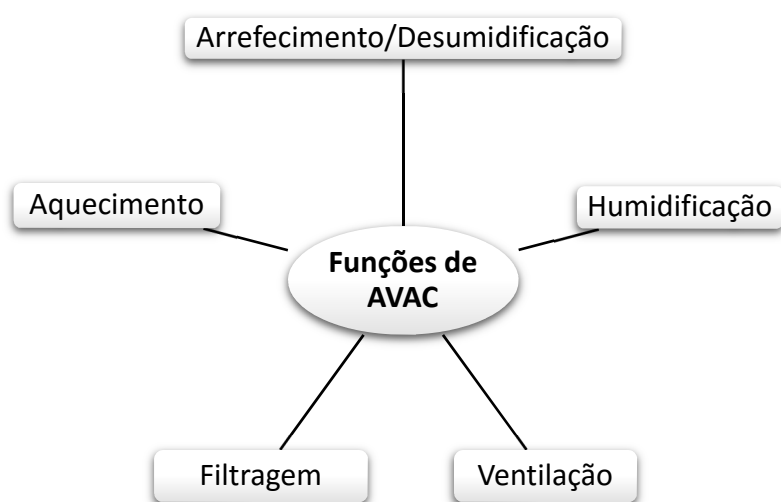
<b>Estação</b>	<b>Temperatura Operativa de Conforto</b>	<b>Pressupostos para os outros parâmetros</b>
<b>Inverno</b>	20-23°C	$\phi = 50\%$ var < 0.15 m/s Trad=Tdb M= 1.2 met Icl= 0.9 clo
<b>Verão</b>	23-26°C	Idem, exceto Icl= 0.5 clo

Outros autores notáveis aprofundaram o conhecimento nesta matéria, podendo-se citar os modelos de Pierce (Universidade de Yale), em 1970, e o da Universidade Estadual de Kansas (1977). Ambos os modelos são utilizados pelo *DesignBuilder* para prever o nível de conforto através das simulações. O modelo de Pierce (Pierce Two-Node Model), difere do modelo de Fanger, na medida que considera que o corpo humano tem duas secções térmicas isotérmicas concêntricas, a secção interior, onde é gerado o calor metabólico e a secção exterior que representa a pele. Este modelo inclui outros parâmetros como a temperatura interior do corpo [ $T_{core}$ ], a temperatura da pele [ $T_{skin}$ ] a humidade da pele [ $w$ ]. O segundo modelo (KSU Two-Node Model) é semelhante ao primeiro, mas difere na medida em que calcula a sensação térmica com base na diferença de temperatura entre a  $T_{skin}$  e a  $T_{core}$  para ambientes frios e nas variações da humidade da pele para ambientes quentes, (DesignBuilder, 2016).



## 2.6.2 TECNOLOGIAS AVAC

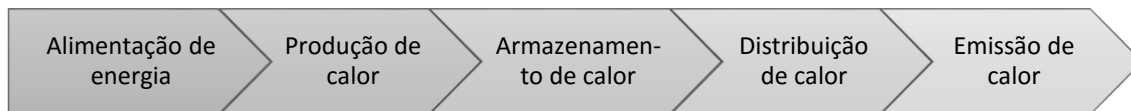
Os sistemas de climatização têm várias formas para alterar as condições térmicas e a qualidade do ar de um espaço. Podem combinar diferentes funcionalidades que atuam sobre a temperatura do ar (aquecimento ou arrefecimento), sobre o teor de humidade do ar, criam fluxos de ar que têm impacto no conforto (ventilação) ou melhorar a qualidade do ar, retendo partículas provenientes do ar exterior (Esquema 5).



Esquema 5 – Diferentes funcionalidades dos sistemas de climatização

A desumidificação, normalmente é conseguida através do arrefecimento do ar e da consequente condensação do vapor de água. Esses condensados são recolhidos num tabuleiro de condensação, que contém um esgoto, por onde a água líquida é descartada. Poderá ser necessário aquecer de seguida o ar, para que volte a ter a temperatura de insuflação correta.

Seguidamente, serão abordadas as tecnologias que são utilizadas para climatizar o edifício em estudo. O processo de aquecimento ou arrefecimento ativo, necessita sempre de energia para funcionar e tem como objetivo transferir calor do exterior para o interior, ou vice-versa. No caso de sistemas de expansão direta ou de aquecedores, a produção, armazenamento, distribuição e emissão de calor são feitos no mesmo aparelho. No caso de sistemas centralizados, como os da ESAN, o calor produzido é armazenado num fluido que é distribuído por dispositivos que o emitem (Esquema 6). Se se tratar de arrefecimento, a única diferença está no facto de o calor ser retirado de um espaço, em vez de ser produzido e ser emitido, ou expulsado, para o exterior.



Esquema 6 – Sequência de transferência de calor para um espaço interior

### 2.6.2.1 CIRCUITO DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

#### a) Bomba de calor geotérmica

O sistema de bomba de calor geotérmica **produz** calor, tal como as restantes bombas de calor, na medida em que transfere calor de um meio para o outro utilizando um ciclo frigorígeno que funciona a partir de diferenciais de temperatura. Isto possibilita que tenha um coeficiente de performance superior a 1, dado que a energia elétrica necessária não é usada para aquecer, mas para alimentar as bombas e o compressor. Neste caso em particular, o calor é proveniente do solo ou de águas subterrâneas, uma vez que o permutador está colocado no subsolo no circuito secundário (Figura 3). Esse circuito secundário pode ser aberto ou fechado. A diferença é que no sistema aberto, é aspirada água diretamente do meio, que passa no permutador de calor da bomba de calor, sem grande controlo das suas características (impurezas, pH, etc.). É o sistema mais simples e que evita o uso de um segundo permutador de calor no circuito secundário.

No sistema fechado, a água que circula no circuito secundário está encerrada na tubagem do circuito e as trocas de calor são feitas através da tubagem, sem haver misturas entre fluidos. A condutividade da tubagem e do solo têm aqui uma grande importância (ATECYR, 2010).

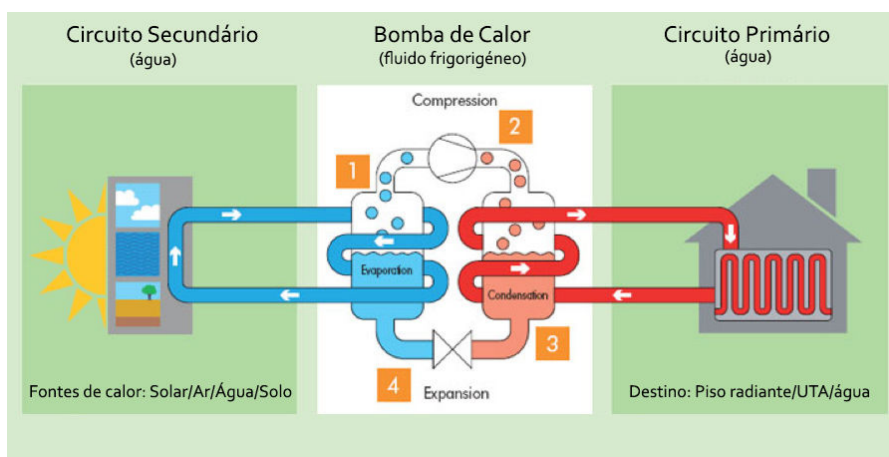


Figura 3 – Funcionamento de uma bomba de calor geotérmica, (Bornet Electricite, 2016)

Existem quatro tipos básicos de bombas de calor geotérmicas. O de circuito aberto, o do tipo horizontal, o do tipo vertical, e o submerso, como é mostrado na Figura 4. As diferenças fundamentais que os distinguem estão nos permutadores de calor que são, os coletores geotérmicos, que serão abordados mais adiante, nesta secção.

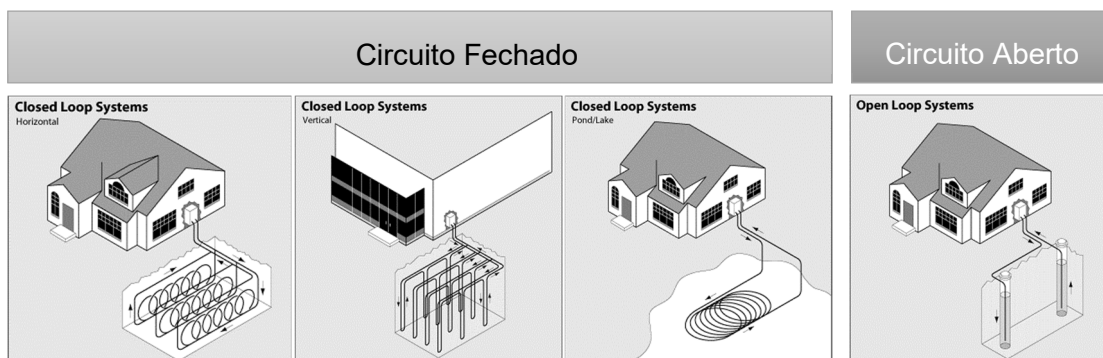


Figura 4 – Tipos de bombas de calor geotérmicas – Horizontal, Vertical, Submersa, de Circuito Aberto, ( U.S. Department of Energy, 2016)

Na teoria, as vantagens das bombas de calor geotérmicas são evidentes, pela elevada eficiência que proporcionam, sobretudo se usadas em conjunto com um piso radiante. Isto é devido ao facto de trabalharem com temperaturas baixas, em torno de 30 e 40°C. Outro fator que as torna interessantes é o facto de a temperatura do subsolo manter-se num intervalo pequeno (Figura 5), o que permite sempre que a troca de calor seja feita independentemente das condições de temperatura do ar, ao contrário de uma bomba de calor aerotérmica (Omer, 2006).

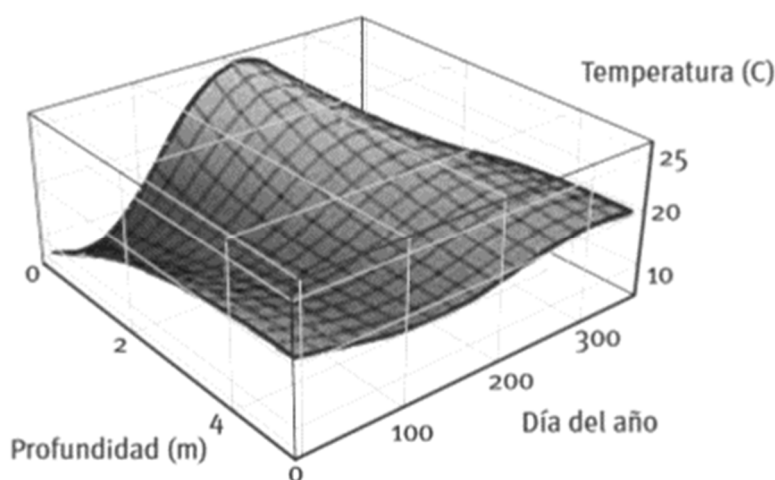


Figura 5 – Variação da temperatura do subsolo, em função da profundidade durante o ano (ATECYR, 2010)

Os inconvenientes prendem-se com o facto de terem um custo de instalação oneroso pelo facto de ser necessário escavar valas para se colocarem os permutadores de calor e voltar a cobri-los, no caso dos permutadores horizontais, ou fazer furos profundos (15-150m), no caso dos permutadores verticais. O sistema exige que se faça um estudo prévio da qualidade do solo com que se vai efetuar a troca de calor. O edifício deve ser bem isolado, para que o sistema funcione corretamente. A instalação deste tipo de sistemas deve ser feita cuidadosamente para que todos os elementos possam funcionar em sintonia e não comprometam o desempenho do sistema em termos gerais. Esse tipo de problema pode impedir o sistema de ter o desempenho desejado ou mesmo o seu funcionamento (Omer, 2006).

O fluido frigorigéneo utilizado por excelência na bomba de calor é o R410A, que é menos poluente que o antigo Freon, ou R22, que continha clorofluorcarbonetos, nocivos para a camada do ozono. O fluido que circula no circuito secundário fechado é água pura, ou água com etilenoglicol, que tem propriedades anticongelantes.

Apesar do investimento, o tempo de retorno normal de uma bomba de calor geotérmica pode variar entre os 5 e 10 anos, de acordo com o Departamento de Energia dos Estados Unidos da América. O tempo de vida útil estimado dos equipamentos interiores é de 25 anos e o dos coletores subterrâneos é superior a 50 anos. Anualmente são instalados 50 mil sistemas nos EUA.

## **b) Coletores geotérmicos**

Os coletores geotérmicos são permutadores de calor que são responsáveis pelas trocas de calor entre a água que circula no sistema secundário e a máquina frigorífica. Basicamente são tubos de PVC que estão enterrados ou submersos. A profundidade a que eles estão determina o grau de influência da temperatura ambiente no subsolo. Quanto maior a profundidade, maior a estabilidade da temperatura do subsolo, (Sarbu & Sebarchievici, 2016).

Os coletores horizontais podem ser de tubo único, múltiplos tubos ou de tubos em espiral. Na Figura 6 – Coletor horizontal à esquerda e coletor horizontal em espiral à direita, , à esquerda é possível ver um coletor do primeiro tipo, que necessita de uma área maior para ser instalado. Neste caso a profundidade de instalação varia de 0,8 a 1,5 m. O de múltiplos tubos é mais compacto e interessante, caso a área disponível seja limitada e o coletor em espiral é ainda mais compacto, mas mais profundo (Figura 6, à direita).

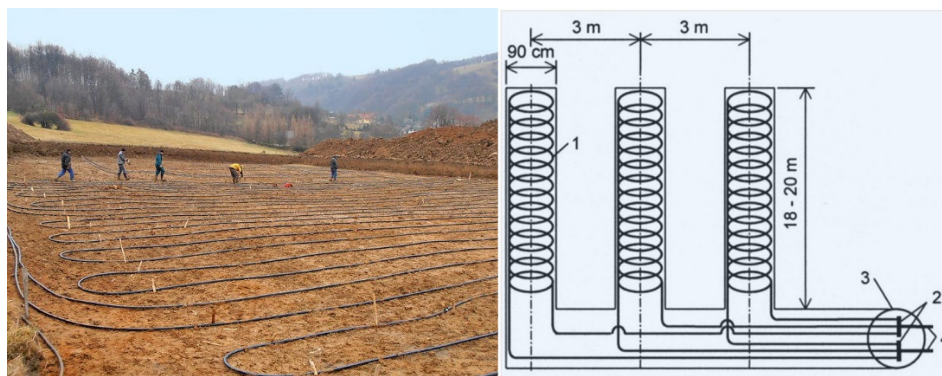


Figura 6 – Coletor horizontal à esquerda e coletor horizontal em espiral à direita, (Sarbu & Sebarchievici, 2016)

Os coletores verticais são instalados a profundidades muito maiores do que os horizontais (20-200 m) e existem dois grupos principais, os em U e os coaxiais (Figura 7). As vantagens dos coletores verticais em relação aos coletores horizontais prendem-se com o facto de serem instalados com um furo estreito, numa situação em que o solo rochoso está a uma profundidade pequena, e necessitam do mínimo de espaço, quando se pretende fazer o mínimo de alterações à paisagem. Outras vantagens são a menor quantidade de tubo necessária e melhor performance térmica (Omer, 2006).

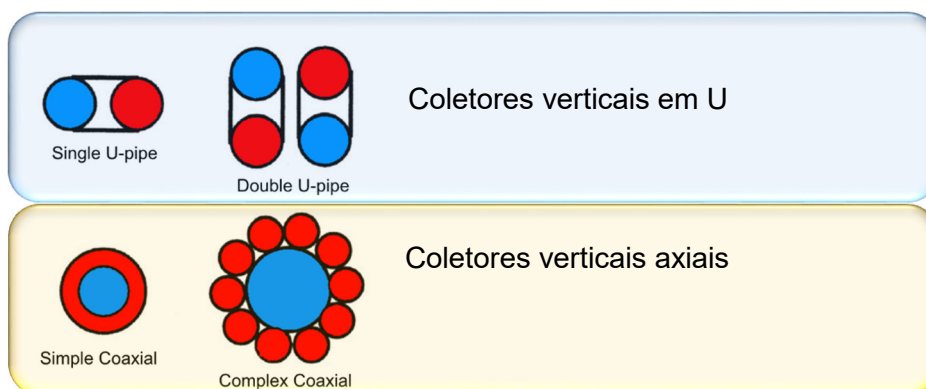


Figura 7 – Disposição dos tubos dos coletores geotérmicos

Os coletores submersos (Figura 8) têm uma importante mais valia, que é o facto da convecção ser muito melhor em meio líquido do que em meio gasoso ou que a condução (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2012). Claro está, é necessário que haja lagos nas proximidades do edifício e, também, ter alguns cuidados na montagem dos coletores, especialmente porque a água pode solidificar à superfície e, nessa altura será necessário colocar os tubos a uma profundidade maior.

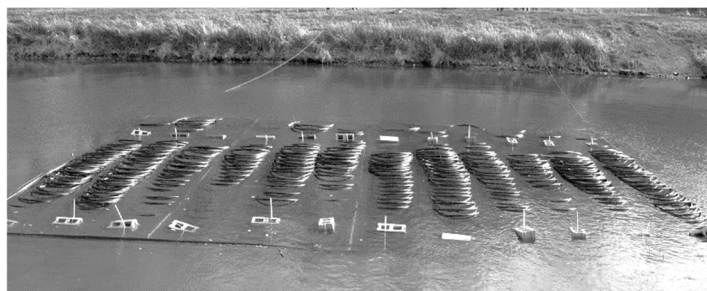


Figura 8 – Coletores submersos (a serem submergidos), (Martin Energetics, 2016)

Outra vantagem é o facto de ser o menos dispendioso, pois evita fazer furos e grandes escavações como os dois tipos de coletores abordados anteriormente e, à partida, será precisa menos energia para bombear a água no circuito do que nos outros coletores. Já, no quesito das desvantagens, pode-se mencionar a maior vulnerabilidade da tubagem a danos e as variações que a temperatura da água sofre, com a alteração da temperatura ambiente.

### c) Piso radiante

Existem diferentes tipos de piso radiante, nomeadamente o piso aquecido por resistências elétricas e o piso radiante hidráulico (Martins, Sistemas AVAC - As Tecnologias, 2014). Este tipo de sistemas radiantes pode, também, ser instalado em tetos e em paredes e pode ser usado não só para aquecer como para arrefecer.

O piso radiante tem a função de **armazenamento** de calor, uma vez que está embutido numa laje de betão, com elevada massa térmica, que **emite** energia calorífica a baixa temperatura (a superfície não deve estar a mais de 25.°C), ao mesmo tempo que **distribui** de forma homogénea o fluido de distribuição, que é água que circula numa tubagem (ASHRAE, 2000).

Pode-se distribuir a tubagem de formas diferentes, tendo resultados diferentes. Uma das formas é a serpentina, que começa de um lado da sala e termina do outro lado. O seu principal inconveniente é que a água entra a uma determinada temperatura e vai perdendo o calor até chegar ao outro lado da sala, o que significa que há uma zona da sala que vai estar mais fria que a outra, logo o aquecimento não é uniforme. O sistema de dupla serpentina e o de contracorrente são os que melhor espalham o calor pela divisão, especialmente o último, como é possível ver na Figura 9, (Laouadi, 2004).

A água quente é distribuída e recolhida por coletores que dividem o caudal pelos vários circuitos. Os circuitos têm diferentes comprimentos e, por isso, existem válvulas

manuals para equilibrar os caudais em todos os circuitos, deve ser feito após a instalação do piso radiante (Martins, 2015). Deve-se também garantir que os circuitos não contêm ar, para que não haja ruídos nem cavitação nas bombas.

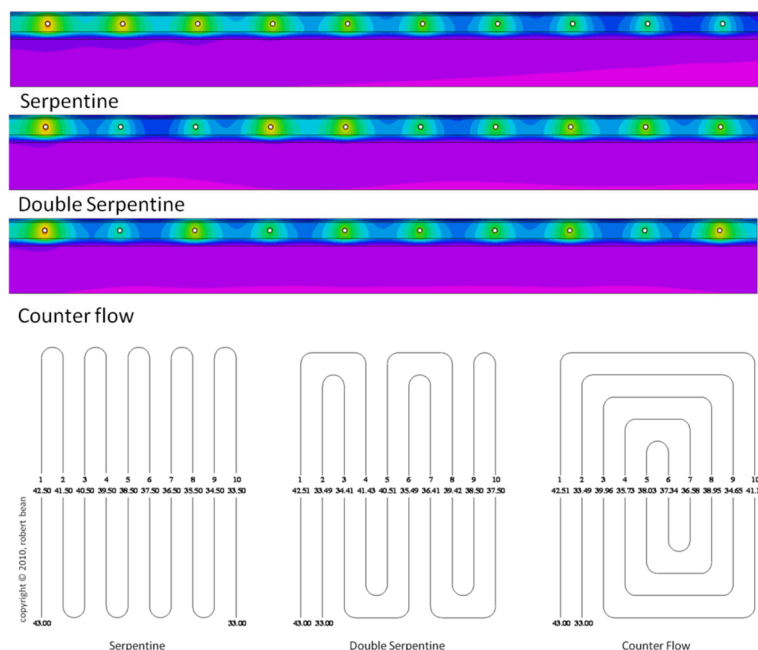


Figura 9 – Diferenças entre a disposição da tubagem nos pisos radiantes, (Healthy Heating, 2016)

O sistema de piso radiante é o difusor de calor mais confortável, pois aquece o espaço interior por convecção natural, mas especialmente, aquece os ocupantes por radiação. Isto significa que não existem problemas com jatos de ar muito quente ou muito frio, logo por isso, também a temperatura no interior do compartimento é bastante mais homogênea. Por outro lado, o conforto do ser humano é maior quando os pés estão mais quentes que a cabeça, o que também acontece com este sistema (Martins, Conforto Térmico, 2015). Ao nível da salubridade, não possui nenhum dos problemas que têm, por exemplo, os sistemas que movimentam o ar, porque não têm ventoinhas que causam ruídos ou correntes de ar nem têm filtros que ficam colmatados e precisam de ser trocados ou condutas que acumulam fungos e bactérias e exigem manutenções regulares (Watson & Chpman, 2002).

Outro aspeto positivo é a elevada eficiência energética do piso radiante, como elemento de transporte de calor da água que corre na tubagem para a superfície do tubo ser feita por convecção forçada líquido/superfície, que é a forma mais eficaz de convecção (Watson & Chpman, 2002). Esse calor irá ser transportado para a superfície, por condução, através da camada de betão que é um material condutor e que, ao mesmo tempo absorve

também o calor, que é libertado de forma lenta. É conveniente, claro, não cobrir a laje condutora com materiais isoladores, como madeira ou alcatifas, e isolar o lado inferior (Martins, 2015). Outra razão para a eficiência energética é o facto de trabalhar com temperaturas de operação baixas, que limita as perdas de calor entre os locais da produção de calor e a emissão, pouco controladas. O piso radiante pode também funcionar de forma passiva, utilizando pouca energia em situações de menores necessidades de climatização (ENERES, 2010). Outra vantagem prende-se com o facto de ser possível aquecer com uma fonte energética alternativa.

Como todos os sistemas, este possui desvantagens: o preço de instalação é elevado, uma vez que necessita de obras e planeamento. Normalmente, deve montado quando o edifício é construído pois, para instalar num edifício existente implica construir um pavimento por cima do existente, diminuindo o pé direito, e adaptar uma tubagem a um edifício existente é sempre mais complexo. Outro problema é o facto do sistema ter uma lentidão de resposta, que pode torna-lo desadequado, por exemplo, em edifícios que não tenham uma utilização regular (Risueño, 2007). Este problema também se torna evidente quando existem cargas térmicas muito grandes que surjam de um momento para o outro, como radiação solar ou outros equipamentos, que provocam um sobreaquecimento, pois o sistema continua a irradiar calor, mesmo que se feche o abastecimento de água quente.

Por outro lado, o piso radiante é mais indicado para climas frios do que para climas temperados, pois tira-se mais partido do piso radiante para aquecer do que para arrefecer, pelo facto de o arrefecimento ser limitado pela temperatura de orvalho (Mumma, 2001). Se for definida uma temperatura demasiado baixa, pode-se provocar condensação. A inércia térmica é outro fator que torna o sistema mais difícil de gerir em climas temperados, quando a transição da estação de aquecimento e arrefecimento e vice-versa é rápida (Risueño, 2007).

### **2.6.2.2 CIRCUITO DISTRIBUIÇÃO DE AR**

Depois de se abordar os componentes do circuito da água, serão abordados os componentes do circuito de distribuição do ar, que embora sejam distintos, eles encontram-se interligados, pois existem trocas de calor entre os fluidos de ambos.

#### **a) Unidades de Tratamento de Ar**



As Unidades de Tratamento de Ar, ou UTAs, têm como função principal manipular as condições do ar que é insuflado nas divisões climatizadas. Na verdade, estes equipamentos são os que mais funções realizam: podem aquecer, arrefecer e com isso, desumidificar, filtrar, humidificar, e renovar o ar interior. No entanto, sozinhas, não têm a capacidade de fazer estas funções todas, uma vez que necessitam de estar ligadas ao circuito de água para receberem a água quente ou gelada, que irá ceder ou receber o calor com o ar que estão a condicionar (ASHRAE, 2016).

Nem todas as UTAs têm as mesmas funcionalidades, sendo escolhidas conforme as necessidades, logo nem todas terão os mesmos componentes. As UTAs admitem ar vindo do exterior que passa por um conjunto de filtros, que têm como função, em primeira instância, retirar as partículas de maior dimensão que provoquem avarias nos ventiladores e que impeçam os permutadores de calor de transferir o calor eficazmente, por ficarem isolados pelos detritos. O ar passa por outro conjunto de filtros, que retêm partículas ainda mais pequenas, essas sim, que são nocivas ao sistema respiratório e o organismo não tem capacidade de as expulsar (Martins, Sistemas AVAC - As Tecnologias, 2014).

As UTAs possuem permutadores de calor para aquecer e arrefecer o ar e, também, um tabuleiro de condensados para esgotar a água que se condensou ao atravessar o permutador de calor de arrefecimento. Caso se pretenda ar seco e quente, esse ar que foi desumidificado pelo arrefecimento terá de ser novamente aquecido para a temperatura pretendida (Martins, Sistemas AVAC - As Tecnologias, 2014).

Outro componente das UTAs são os ventiladores para fazer o ar mover-se através dos permutadores de calor e dos filtros para a condutas que o distribuirão pelas grelhas de ventilação. Existem ventiladores de tipos diferentes, por exemplo os helicoidais e os centrífugos (Monteiro, 2016).

## **b) Recirculação de Ar**

Nem todo o ar que é insuflado nas divisões é proveniente do exterior. Em boa verdade, só deve ser admitido ar novo quando a qualidade do ar interior é comprometida. Isto deve-se ao facto da climatização do ar ter um peso elevado energético, logo económico e ambiental, e não se dever desperdiçar essa energia ao extrair esse ar tratado para o exterior. Assim, o ar sai pelas grelhas de extração e retorna à UTA para ser novamente tratado, mas de uma situação em que necessita de menos energia, relativamente ao ar do exterior. Esse ar designa-se de recirculado.

De forma a tornar o sistema ainda mais eficiente, é possível pré-aquecer o ar novo, fazendo-o passar por um permutador de calor que também é atravessado pelo ar velho,

sem que os caudais se misturem. Existe, apenas, transferência de calor de um fluido para o outro, para minorar as necessidades de aquecimento (Martins, 2014).

### c) Pré-Aquecimento Solar

O pré-aquecimento solar caracteriza-se por painéis solares que são atravessados por ar exterior que é aquecido utilizando a radiação solar incidente e, também, a refletida pelos elementos em redor, como o chão, a vegetação, etc. O interior do painel solar possui uma superfície escura para que a absorção de energia seja máxima, otimizando a eficiência do dispositivo (Figura 10). Esse ar pré-tratado é filtrado para evitar que entrem partículas que interfiram com o funcionamento correto do painel. Uma vantagem deste dispositivo, em relação aos dispositivos que trabalhem com líquidos é não existirem problemas com solidificação a baixas temperaturas ( U.S. Department of Energy, 2016).

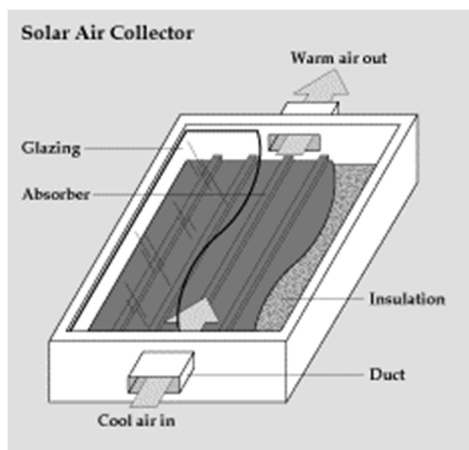


Figura 10 – Painel solar para pré-aquecimento do ar (Solar Tribune, 2011)

Como desvantagem, este tipo de equipamento só produz uma quantidade significativa de calor em dias de sol, por isso só pode ser utilizado como uma forma de economizar energia, não se podendo subdimensionar a potência dos outros meios de produção de calor pelo facto de estes existirem. Por outro lado, só é útil durante a estação de aquecimento e não na estação de arrefecimento.

## 3. CONCLUSÃO

Neste capítulo, através da revisão bibliográfica da legislação, foi possível concluir que o edifício em estudo neste trabalho é abrangido pelo SCE, pelo facto de ser um edifício novo, cujo projeto data de 2012. Nessa altura, a legislação em vigor era a de 2006. Os

estudos feitos na atualidade devem obedecer à legislação de 2013. Para além disso, o edifício tem uma área interior de 3841,85 m<sup>2</sup>, bastante superiores dos 1000 m<sup>2</sup> que são a área mínima, a partir da qual os edifícios de serviços são abrangidos pelo SCE. Assim, o edifício em questão é um Grande Edifício de comércio e Serviços (GES).



## CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA ADOTADA

---

### 3.1 SÍNTESE METODOLÓGICA

A metodologia adotada, neste trabalho de investigação, segue a mesma estrutura que uma auditoria energética, definindo-se 4 fases: planeamento, visita às instalações, tratamento dos dados e a elaboração de um relatório.

No que diz respeito ao planeamento, é necessário reunir dados que permitam ter conhecimento prévio do edifício antes da visita propriamente dita. É conveniente ter acesso a plantas e, se possível obter os dados técnicos do edifício, como os projetos de construção, os dos equipamentos de climatização e outros que sejam relevantes, nesta fase. Conhecendo o local do edifício pode-se obter logo os dados climáticos para utilizar na simulação e com as peças desenhadas do edifício, é possível fazer o modelo tridimensional que servirá de base à simulação, ainda antes da visita ao local.

Durante a segunda fase (i.e. **visita às instalações**) deve ser obtida o máximo de informação relevante para introduzir a simulação, sendo de bastante importância a realização de uma lista de itens que deverão ser obtidos e questionados à pessoa responsável que receber o auditor. O tipo de dados que são necessários para se introduzir no modelo prende-se especialmente com a atividade nas salas, que pode não se exatamente aquela que é dita na documentação do edifício, os perfis de ocupação, utilização dos equipamentos e sistemas de climatização.

Na terceira fase (i.e. **tratamento dos dados**) deve ser simulado o edifício, calibrado o modelo, criado o modelo com as soluções de referência com o qual será comparado o modelo original de forma a caracterizar a classe energética do edifício.

Após esta análise realiza-se o **relatório** (quarta fase) indicando-se os problemas e as causas que levam à proposta de medidas de melhoria energética e/ou de qualidade de ar interior. Essas medidas são analisadas do ponto de vista económico, levando à estimativa do período de retorno do investimento que condiciona a sua proposta no relatório da análise.

## 3.2 IMPLANTAÇÃO E DADOS CLIMÁTICOS

O RECS (Portaria 349-D.2013 de 2/12/2013), especifica que para se fazer uma simulação dinâmica multizona, “devem ser utilizados os dados climáticos disponibilizados, para este efeito, pela entidade gestora do SCE”. Assim, é na página do LNEG (<http://www.lneg.pt/servicos/328/2263/>) que se encontram os dados que são os adequados para o SCE. Para os utilizar é necessário descarregar o ficheiro de Excel do LNEG, onde se irá escolher o concelho e a altitude onde se encontra o edifício. Em função dessas opções, fica automaticamente escolhida a região NUTS III, as zonas de verão e inverno e o respetivo número de graus-dia de aquecimento (Figura 11). Clicando no botão “Preparar ficheiro” é gerado o ficheiro no formato \*.epw, que terá de ser convertido no *DesignBuilder* para ficar no formato que este programa utiliza (Figura 12). Na realidade a NUTS III sofreu alterações em 2013, que só entraram em vigor em 2015, fazendo agora Oliveira de Azeméis, parte da “Área Metropolitana do Porto”, deixando de existir a nomenclatura “Entre o Douro e Vouga” que surge na portaria supracitada e no ficheiro Excel do LNEG.

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica  
versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Seleção por município

Oliveira de Azeméis

**Zona climática**

NUTS 3: Entre Douro e Vouga

Latitude: 40,9 °N (nominal)

Longitude: 8,4 °W (nominal)

Altitude: 298 m (referência)

**Local específico**

Município: Oliveira de Azeméis

Altitude: 206 m

**Dados climáticos**

	Referência	Neste local
<b>Estação de aquecimento</b>		
Período:	6,9	6,8 meses
T média:	8,4	8,9 °C
Graus-dia:	1544	1415 °C
<b>Estação de arrefecimento</b>		
T média:	20,6	20,9 °C

**Zonas de verão e inverno**

V 2 I 2

preparar ficheiro

EPW (formato EnergyPlus Weather)

**LNEG** | Software para Políticas Públicas

Sistema Nacional de Certificação de Edifícios  
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 11 - Interface do ficheiro Excel do LNEG para gerar o ficheiro climático que será utilizado no programa de simulação dinâmica

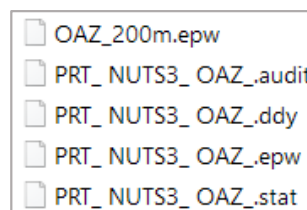


Figura 12 – Ficheiro gerado pelo ficheiro Excel do LNEG, seguido dos quatro ficheiros criados pelo *DesignBuilder* após a conversão

Em relação à implantação do edifício, existe uma planta de implantação que representa o edifício e o lugar onde o edifício está implantado, permitindo compreender a envolvente, como o posicionamento de árvores e estradas ou ruas de acesso e também as isolinhas da cota, que é possível encontrar no Apêndice 1.

### 3.3 LEVANTAMENTO DIMENSIONAL

O levantamento dimensional caracteriza-se por obter medidas pelo interior do edifício, que devem ser provenientes de peças desenhadas do edifício, como plantas e cortes. Os dados mínimos especificados pelo RECS (Portaria 349-D.2013 de 2/12/2013), relativos ao levantamento dimensional e à volumetria do edifício são:

- Tipo de espaço;
- Pé-direito;
- Áreas em contato com o solo, áreas totais do pavimento do espaço, da envolvente vertical e da envolvente horizontal, exterior e interior, opaca e envidraçada.

No caso deste trabalho, o levantamento dimensional é feito através das plantas e cortes disponibilizados pelos Serviços de Gestão Técnica e Energética da Universidade de Aveiro. O levantamento das dimensões do edifício é feito a partir dos ficheiros no formato \*.dwf que podem ser abertos no programa *Autodesk DesignReview* com as diferentes vistas do edifício cujas medidas se podem tirar com a ferramenta *Measure*. Essas medidas coincidem com as cotas que figuram nas plantas, o que confirma a validade dessa informação no que se refere às medidas dos espaços. No que diz respeito às espessuras, é possível também, retirar medidas dos ficheiros que contêm os pormenores construtivos, uma vez que as medições feitas com a ferramenta *Measure* coincidem com os alguns dos valores que lá constam.

No software são, então, introduzidas as medidas interiores retiradas da planta e escolhendo-se a opção *Inner Volume* (Figura 13), para que seja fixada a medida interior e a espessura das paredes ocupe o espaço exterior. No caso das paredes de compartimentação interior, estas devem colocadas a meio, de forma a ficar metade da espessura para cada lado.

General	
Simple	
Category	<All>
Zone geometry and surface areas	1-Inner volume
Zone volume calculation method	1-Inner volume
Zone floor area calculation method	1-Inner volume

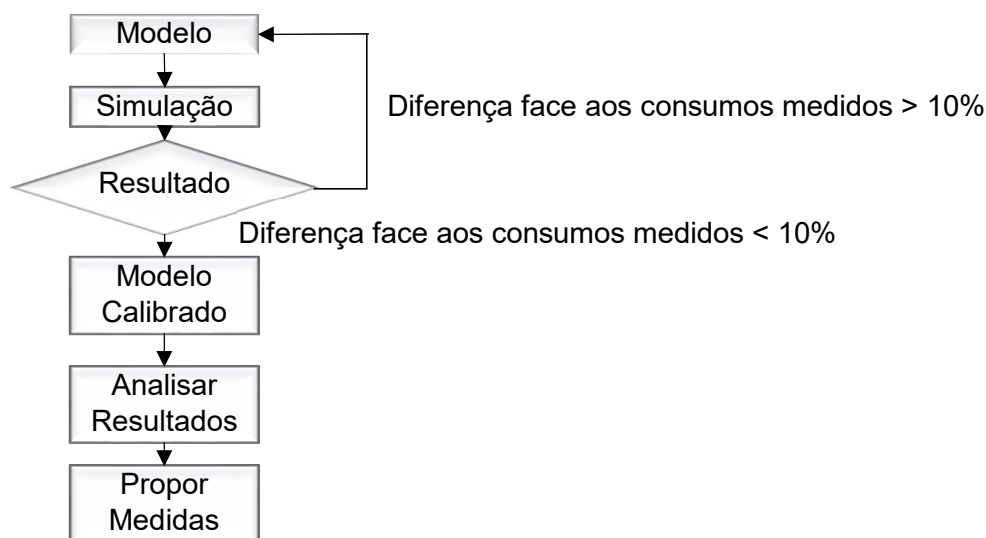
Figura 13 – *Template* de convenção de geometrias

### 3.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DINÂMICA

Quando é feito um modelo que pretende simular o comportamento térmico de um edifício, é introduzida uma quantidade elevada de dados, que não é possível conhecer inteiramente, pelo que têm de ser arbitrados e estimados. Por conseguinte, é necessário comparar os resultados do modelo com os consumos que decorreram do uso do edifício. Para o fazer, é necessário ter um histórico de consumos no mínimo de um (1) ano completo, que é constituído pelas quatro estações, sendo que o ideal seria ter 4 anos de histórico. Deve-se fazer uma média dos consumos mensais, pois os consumos com climatização podem variar de ano para ano, pelo facto de existirem anos com extremos climatológicos e outros que podem ser mais amenos. Para além disso, existem alguns outros fatores que podem alterar o consumo energético, como equipamentos que estejam avariados e/ou inativos, alterações no perfil de utilização do edifício que difiram.

A calibração nada mais é que uma afinação iterativa do modelo até os resultados estarem dentro de uma margem, que se considera aceitável, de 10% em relação aos consumos (Esquema 7).





Esquema 7 – Fluxograma com os passos do processo de calibração

Basicamente fazem-se alterações aos perfis de utilização de equipamentos, ocupação, iluminação, AVAC em que haja folga para alterar, tendo em conta que as informações disponíveis nem sempre correspondem completamente à realidade. Outro aspeto importante é que normalmente os equipamentos têm uma potência nominal, que é consumida quando o equipamento está em carga. No entanto, nem todos os equipamentos consomem o máximo, quando estão em funcionamento, o que pode provocar discrepâncias entre o modelo e os consumos medidos. Convém também referir que o histórico de consumos é ao nível do edifício inteiro, no qual podem funcionar dezenas de equipamentos diferentes, que não têm um contador de energia individual, portanto é impossível saber ao certo quanto consumiram. Apenas é possível arbitrar um perfil de utilização que pode ou não ser realista e uma percentagem da potência nominal.

Quando os resultados da simulação estiverem suficientemente próximos dos consumos médios dos anos anteriores, ou seja, dentro da margem que se estipulou como aceitável, considera-se que está a calibração concluída, podendo-se comparar esses resultados com os da solução de referência, que será de imediato explicada.

### 3.5 DEFINIÇÃO DO EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA

Como a certificação energética do edifício tem como base a determinação da classe energética do edifício e esta é uma comparação do comportamento térmico com uma

solução de referência, é necessário defini-la depois de validar o modelo do comportamento térmico do edifício.

Na prática, define-se o edifício de referência, criando um modelo (ficheiro de simulação) separado, baseado naquele que foi criado com as características reais do edifício, mas alterando-as para aquelas incluídas na Portaria 349-D.2013 de 2/12/2013 (RECS).

As alterações que se devem realizar são no âmbito das:

- soluções construtivas da envolvente, nomeadamente ao nível dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca e ao nível das áreas envidraçadas e dos respetivos fatores solares;
- das especificações dos sistemas de climatização, substituindo o sistema existente por um que está descrito na tabela retirada do RECS (Anexo I) e caso não exista, criar um;
- da ventilação, em que o caudal de ar a insuflar é determinado pelo método prescritivo e é feita por ventilação mecânica;
- de produção de água quente sanitária, em que se consideram valores de referência definidos para a eficiência dos equipamentos de aquecimento;
- de iluminação em que se usa uma densidade de potência de iluminação mínima, retirando do modelo qualquer dispositivo de controlo de luminosidade automáticos;
- das energias renováveis, que caso sejam usadas, devem ser removidas do ficheiro de referência.

O que é mantido do modelo original para o modelo de referência é a geometria do edifício, as taxas e perfis horários de ocupação e dos equipamentos e os perfis de iluminação existentes, mas não a densidade da potência, como foi mencionado acima.

Tendo-se definido as soluções de referência previstas pela legislação que são aplicadas ao modelo de simulação dinâmica, simulam-se os consumos energéticos anuais de forma a poder-se chegar aos Indicadores de Eficiência Energética, que serão usados para classificar o edifício ao nível do desempenho energético, processo que será abordado seguidamente.

### **3.6 DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO**

A determinação da classe energética do edifício é um dos objetivos principais quando se faz um trabalho de auditoria/avaliação energética/reabilitação, pois ela é um dos

objetivos dos certificados energéticos SCE e na fase de licenciamento é necessário que o edifício melhore a eficiência energética, e para a classe energética mínima exigida, caso não cumpra o mínimo estipulado.

O modo para determinar a classe energética implica o cálculo de Indicadores de Eficiência Energética (IEE) da forma mencionada no RECS (Portaria 349-D.2013 de 2/12/2013). Com esses IEE, calcula-se o rácio de eficiência energética ( $R_{IEE}$ ) utilizando a Equação 1.

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{ref,S}}$$

Equação 1– Rácio de eficiência energética (Despacho 15793-J.2013, 3 de dezembro)

Os IEE que constam da expressão anterior, são o  $IEE_S$  relativo aos consumos do tipo S, o  $IEE_{REN}$  relativo à energia elétrica e térmica renovável, onde se inclui aquela produzida por painéis solares, produzida no local do edifício e o  $IEE_{ref,S}$  de referência obtido através do modelo de referência que foi abordado na secção anterior. As IEE são uma medida de energia primária por área e por ano [ $kWh_{EP}/m^2 \cdot ano$ ].

No caso do edifício em questão, como é um Grande Edifício de Serviços existente, o  $IEE_S$  a calcular é o IEE previsto e não o efetivo. Sendo o efetivo calculado a partir do histórico de consumos e o previsto, que é o relevante, calculado através da simulação do modelo do edifício, após a calibração. Introduzindo os valores dos consumos das simulações anuais na expressão dá imediatamente o rácio, dado que as unidades se cancelam se foram as mesmas para todos os termos. Consoante o valor do rácio de eficiência energética, assim será a classe energética do edifício que é dada pela Tabela 2.

Tabela 2 – Classes de eficiência energética (Despacho 15793-J.2013, 3 de dezembro)

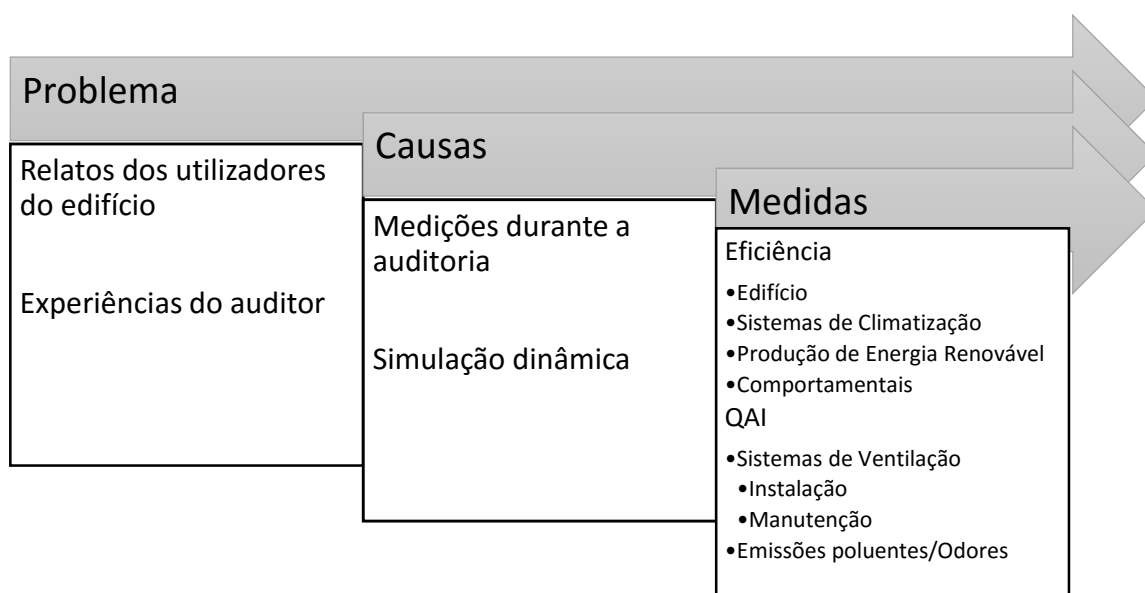
Classe Energética	Valor de $R_{IEE}$
<b>A+</b>	$R_{IEE} \leq 0,25$
<b>A</b>	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$
<b>B</b>	$0,51 \leq R_{IEE} \leq 0,75$
<b>B-</b>	$0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$
<b>C</b>	$1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,50$
<b>D</b>	$1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$
<b>E</b>	$2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$
<b>F</b>	$R_{IEE} \geq 2,51$

Para alterar positivamente a classe energética do edifício é necessário realizar uma reabilitação energética que deve ser incidir sobre os pontos do edifício que possam ser melhorados. A secção seguinte incide precisamente na forma de encontrar medidas que

melhorem e desempenho energético, com a consequente melhoria da avaliação energética.

### 3.7 ANÁLISE DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA E QAI

Em caso de necessidade de melhorar a classe energética do edifício, terão de ser analisadas medidas de reabilitação energética que poderão recair na intervenção sobre a envolvente interior ou exterior, que é por onde podem ocorrer perdas ou ganhos de calor significativos e indesejados. As medidas terão de ser propostas após encontrar as causas para o problema. Essas causas são descobertas a partir da auditoria que é feita ao edifício e dos resultados da simulação dinâmica. Os problemas poderão ser conhecidos pelos relatos das pessoas que utilizam o edifício e experienciados pelo auditor durante a visita ao edifício.



Esquema 8 – Metodologia para a análise de medidas de reabilitação energética e QAI

Essa intervenção poderá ser feita no coeficiente de transferência de calor das paredes e da cobertura, melhorando o isolamento; pode ser feita uma rutura das pontes térmicas ao utilizar o sistema ETICS, que isola pelo exterior o edifício com o mesmo material e de forma contínua; a caixilharia pode ser substituída por uma com corte térmico, e os envidraçados podem ser substituídos por uns com melhores características térmicas. Uma cobertura verde é uma possibilidade de isolamento exterior, que tem outras funções

para além de melhorar a performance térmica e acústica do edifício, como absorção de água, produção de oxigénio e poder melhorar a estética, no entanto só poderá ser feita se o edifício tiver condições para tal e também requerem gastos em manutenção.

Por outro lado, as medidas podem ser ao nível dos sistemas de climatização, incluindo ventilação e bombas, e não do edifício em si, podendo passar por uma manutenção periódica para garantir uma boa eficiência, pela substituição dos equipamentos existentes por outros de uma eficiência térmica superior. O mesmo se pode passar para outros equipamentos que existam no edifício, que não sejam de climatização, para a iluminação, para equipamentos de produção de água quente sanitária, elevadores.

Essas medidas não param por aí. Podem ser tomadas medidas em relação ao sombreamento do edifício, que pode passar por alterar os dispositivos de sombreamento existentes, quer os que são do próprio edifício, como os que podem ser montados pelo exterior, que são mais eficazes que os interiores. Ainda podem ser “plantados” dispositivos de sombreamento vivos, arborizando o edifício em redor e tendo sempre atenção aos perigos de incêndio que podem existir, ou danos em caso de temporais, pela queda das árvores.

Por fim, a modificação do comportamento dos utilizadores do edifício poderá ser feita uma campanha de motivação, com vista a ensiná-los a usar de forma eficiente os recursos do edifício. Exemplos dessas medidas podem ser desligar os equipamentos quando não estão a ser usados, desligar as luzes quando não estão a ser usadas tendo, no entanto, atenção ao facto de algumas lâmpadas poderem ter uma duração inferior quando são submetidas a muitos ciclos de ligar e desligar. Utilizar roupa adequada para não ter os sistemas de climatização a aquecer ou arrefecer em demasia ou abrir as janelas para arrefecer as salas sem ligar a climatização são outras medidas de âmbito comportamental que podem resultar em poupanças de energia interessantes sem ser necessário realizar grandes investimentos.

Já no que diz respeito à QAI, depois de se fazer uma auditoria é possível determinar até que ponto é necessário fazer melhoramentos que geralmente recaem nos sistemas de ventilação. Os problemas podem ter a sua origem nos equipamentos em si, em falhas de instalação dos equipamentos, em má manutenção ou em causas exteriores aos equipamentos. Podem ser propostas medidas que obrigam a fazer alterações no edifício, caso seja preciso corrigir problemas de má instalação de equipamentos ou resolver problemas de má higiene no edifício, por exemplo se houverem superfícies alcatifadas contaminadas por fungos e bactérias ou problemas com esgotos, que resultam em ar com

odores desagradáveis. As emissões poluentes nos edifícios podem obrigar a ter uma extração suplementar e uma consequente renovação de ar.

As medidas que são propostas são de carácter obrigatório. No entanto, caso não seja economicamente viável a sua prática, os proprietários do edifício estão dispensados de as realizar. Assim sendo, quando é o critério que considera a viabilidade da medida? O período de retorno simples (quociente entre os custos e a poupança anual) deve ser inferior a 8 anos e não devem haver constrangimentos técnicos administrativos ou legais que impeçam a medida de se realizar. A forma de saber o período de retorno e de tomar a decisão será de seguida abordada na próxima secção.

### **3.8 OTIMIZAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA**

A otimização técnico-económica caracteriza-se por ser uma análise económica de medidas de reabilitação que sejam propostas com o propósito final de conhecer o retorno do investimento de cada uma, para se tomar uma decisão de a realizar ou não.

O primeiro passo deste processo, prende-se com conhecer o custo dessa medida. É algo que nem sempre é fácil saber, pois há muitas variáveis que podem fazer esse custo variar. No entanto, uma forma de obter uma estimativa é utilizar uma página da internet que é o Gerador de Preços ([www.geradordeprecos.info](http://www.geradordeprecos.info)), onde se pode conhecer os preços de referência ao nível de construção, ajustados ao mercado. Este site é bastante completo, pois tem preços para obras novas, para reabilitações e instalação de equipamentos, incluindo uma base de dados de equipamentos de climatização. Outra forma de obter valores mais reais é pedir orçamentos a empresas que vendam os equipamentos e prestem os serviços.

Conhecido o preço deve-se fazer uma simulação que permita saber o consumo do edifício, com essa alteração, e a diferença que poupada anualmente em relação ao consumo original. Com essa diferença é possível determinar o período de retorno do investimento. Existe um programa que auxilia essa análise, desenvolvido pelo governo do Canadá e disponibilizado gratuitamente, que é o RETScreen, e que corre sobre o Microsoft Excel.

Este programa é especialmente útil para este tipo de tomada de decisão, pois calcula o retorno do investimento e a probabilidade do mesmo ser maior ou menor do que a estimativa inicial, tendo em conta variáveis como a taxa de inflação, o aumento do preço da energia e a possibilidade de utilização de empréstimos e utilização de subsídios, que

alteram positivamente ou negativamente o retorno do investimento. A análise feita tem cinco passos principais, como a análise energética, de custo, de emissões, financeira e de risco. Outra razão para utilizar, prende-se com o facto de estar otimizado para projetos em que se trabalhe com energias renováveis, pois possui uma base de dados de equipamentos bastante extensa, embora permita introduzir manualmente esses dados, caso o equipamento não exista na base de dados e se tenham as especificações do equipamento.





# CAPÍTULO 4 – ANÁLISE ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO DA ESAN

---

## 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

### 4.1.1 LOCALIZAÇÃO, FICHEIRO CLIMÁTICO E ORIENTAÇÃO SOLAR

O edifício da ESAN está localizado em território nacional, no distrito de Aveiro, concelho de Oliveira de Azeméis, na freguesia de Santiago de Riba-Ul. Assim, pertence à região NUTS III “entre o Douro e Vouga”, agora na “Área Metropolitana do Porto”, cujas zonas climáticas são no inverno e no verão, I2 e V2, respetivamente, segundo o ficheiro Excel do LNEG (Figura 11 - Interface do ficheiro Excel do LNEG para gerar o ficheiro climático que será utilizado no programa de simulação dinâmica) e o Despacho 15793-F.2013 (de 3/12/2013). No entanto é dito no projeto de AVAC do edifício que as zonas são I2 e V1.

Apesar de na planta existir a indicação de que o edifício está a uma cota de 106 m, várias fontes afirmam que a cidade de Oliveira de Azeméis está acima dos 200 m e de acordo com o *Google Earth*, o local da ESAN está a 206 m, por isso essa foi a altura considerada.

<b>Latitude</b>	40° 51' 43.7" N (40,9 °N)
<b>Longitude</b>	8° 28' 34.8" W (-8,4 °W)
<b>Altitude</b>	206 metros
<b>Graus-dia</b>	1275°C
<b>T exterior de projeto Inverno (1%)</b>	0 °C
<b>T média Inverno</b>	9,4 °C
<b>T média Verão</b>	21,2 °C
<b>T exterior de projeto Verão (99%)</b>	30 °C

As temperaturas exteriores de projeto foram obtidas na publicação do LNEC com as temperaturas exteriores de projeto e selecionaram-se as probabilidades de 1 e 99%, por serem aquelas mais fáceis de verificar nos gráficos de isolinhas, dado que não existem estações meteorológicas nas proximidades de Oliveira de Azeméis (Figura 14).

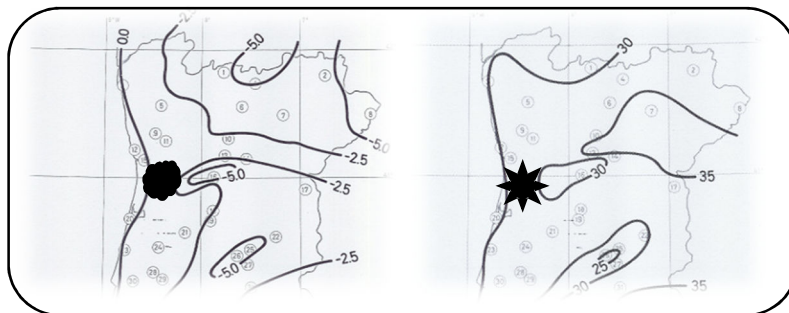


Figura 14 – Isolinhas das temperaturas exteriores de projeto de Inverno e Verão a 1 e 99%, respetivamente

No que diz respeito à orientação solar o edifício é dito em (ENERES, 2010) que o edifício “tem uma ligeira inclinação em direção N-S e está completamente ensolarado sem que existam obstruções ao Sol ou à circulação de ar exceção feita às próprias árvores.” O grosso dos envidraçados está na fachada Sul, ocupando-a quase completamente. Também na fachada Norte existem vãos envidraçados, tendo um grande número de janelas de dimensões reduzidas ao longo dessa fachada. Já o lado nascente do edifício não contém vãos, uma vez que está em contacto com o solo, e o lado poente possui apenas uma porta envidraçada para uma varanda exterior, no átrio do bar.

#### 4.1.2 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

No separador *Construction* são definidas as soluções construtivas que compõem a envolvente. É possível fazer uma definição ao nível geral do edifício (Figura 15), que constitui uma regra e modificar ao nível da zona térmica e parede a parede as soluções que são exceções à regra.

As soluções construtivas que se podem escolher e são relevantes para este edifício são:

- **External walls** – Como o nome sugere, as paredes que fazem parte da Envolvente Exterior (EE) são aqui selecionadas (ex.: paredes da fachada);
- **Below grade walls** – O nome não é sugestivo, mas refere-se a paredes Em Contacto com o Solo (ECS), como a que limita as Oficinas, no lado Este do edifício.
- **Flat roof** – Traduzindo, aqui cabem as porções horizontais da cobertura que fazem parte da EE;
- **Pitched roof** – Já as coberturas inclinadas que fazem parte da EE, são aqui selecionadas, tanto as que limitam espaços ocupados no caso dos gabinetes com

teto inclinado, como as que limitam espaços não ocupados, no caso de salas com *plenum*;

- **Internal Partitions** – Paredes de compartimentação interior, que não fazem parte da envolvente. Ambos os lados da parede pertencem a salas ocupadas;
- **Semi-exposed walls/ceiling** – Refere-se a paredes/tetos que façam parte da Envolvente Interior (EI) - ex.: parede que separa a Oficina da Zona Técnica;
- **Ground floor** – Pisos que façam parte da envolvente ECS, como a parte apoiada do edifício;
- **External floor** – Pisos que façam parte da EE, como na parte suspensa do edifício;
- **Internal floor** – Divisórias horizontais que façam parte da EI, que acontece quando o edifício tem vários pisos. No caso deste edifício o *plenum*, conta como sendo um segundo piso, não ocupado, logo o teto falso representa o “piso” do mesmo.
- **External/internal door** – Define-se o material das portas, que para o *DesignBuilder* são sempre opacas, mesmo que se diga que o material é vidro. Se se quiser ter em conta o efeito da transparência do vidro, terá de ser desenhada uma janela.

Construction Template	
Template	ESAN - soluções construtivas
Construction	
External walls	ESAN - Parede Exterior 2 - Painei Sandwich+Celenit
Below grade walls	ESAN - Parede Em Contacto com o Solo 1 - Tijolo V
Flat roof	ESAN - Telhado Painei Sandwich 100mm
Pitched roof (occupied)	ESAN - Telhado Painei Sandwich 100mm
Pitched roof (unoccupied)	ESAN - Telhado Painei Sandwich 100mm
Internal partitions	ESAN - Parede de Compartimentação Interior 3L
Semi-Exposed	
Semi-exposed walls	ESAN - Parede Em Contacto com o Solo 1 - Tijolo V
Semi-exposed ceiling	ESAN - Tecto Falso Pladur
Semi-exposed floor	External floor - Energy code standard - Medium wei
Floors	
Ground floor	ESAN - Piso
Basement ground floor	Insulated ground floor slab (30mm insulation + 150m
External floor	ESAN - Piso
Internal floor	ESAN - Tecto Falso Pladur
Sub-Surfaces	
Walls	100mm concrete slab
Internal	100mm concrete slab
Roof	100mm concrete slab
External door	ESAN - Porta TSN-19
Internal door	ESAN - Vi1/2 (Vidro temperado)

Figura 15 – Separador *Construction* com o *Template* das soluções construtivas definido

## 4.2 SISTEMAS CONSUMIDORES DE ENERGIA

Para cada sala, é necessário introduzir a densidade energética relativa aos sistemas de iluminação e equipamentos. Após o levantamento dos dados relativos aos equipamentos e lâmpadas existentes para conhecer a potência total, divide-se esse valor pela área para obter a densidade energética (em  $W/m^2$ ).

No entanto, a potência a considerar, para calcular densidade energética dos equipamentos, não é a potência nominal indicada na chapa das especificações dos equipamentos, que é o máximo que o equipamento gasta. Isso torna o cálculo mais difícil, obrigando a fazer uma estimativa da potência média, que varia consoante o uso do equipamento. Para que não haja ganhos térmicos disparatados, é necessário fazer ajustes ao modelo, simular até ter valores das temperaturas interiores mais próximos da realidade e realizar no fim a calibração do modelo. Os valores introduzidos no modelo encontram-se no Anexo II.

## 4.3 SISTEMAS AVAC

Os sistemas de climatização do edifício tiveram de ser desenhados no modo “*Detailed*” do programa *DesignBuilder*. O modo “*Simple*” que inicialmente foi usado, levou a que o programa desse erro depois de os dados do modelo estarem introduzidos, pois o *EnergyPlus* não suporta fazer simulação de sistemas radiativos, mas apenas convectivos. Isso levou a ter de se refazer a introdução dos dados relativos aos sistemas AVAC de novo, no “*Detailed*”.

### 4.3.1 MODELO 1

Este modelo possui um sistema de climatização simples com um aparelho de ar condicionado independente para cada sala dos Setores 1, 2 e 3, com a potência em *Autosize*, para que o programa determine a potência máxima necessária para aquecer (através da simulação na semana de Inverno mais severa) e para arrefecer (simulando na semana mais quente de verão) - Figura 16. Para além desse aparelho, continua a existir o sistema de ventilação VAV que admite ar do exterior em função da concentração de  $CO_2$ , em vez da UTA com funções de aquecimento e arrefecimento.

As instalações sanitárias e bastidores, têm o mesmo formato que no Modelo 2 (Figura 22 e Figura 23), mas com o arrefecimento em *Autosize* e o aquecimento desligado.

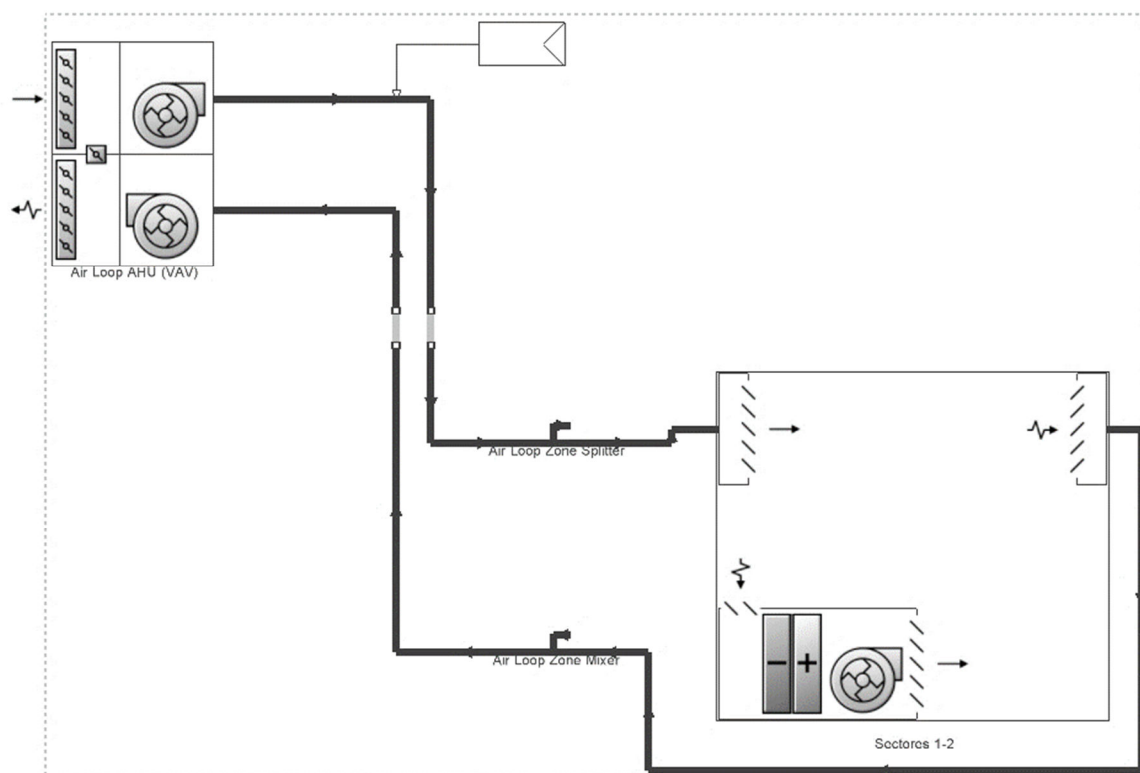


Figura 16 – Sistema AVAC para determinar as necessidades máximas de aquecimento e arrefecimento

### 4.3.2 MODELO 2

Para os setores 2 e 3, o sistema foi modelado de acordo com a Figura 17. O circuito de água quente da bomba de calor geotérmica foi colocado a servir o sistema de ventilação e o piso aquecido. O circuito de frio foi ligado à UTAN, apenas, uma vez que o programa não admite piso radiante com arrefecimento. A potência colocada na bomba de calor do modelo é igual à soma das duas bombas de calor funcionais do edifício.

Na realidade as bombas de calor são reversíveis retirando calor de um circuito para outro, portanto as ligações, na realidade, não são feitas como o esquema da Figura 17, em que o sistema poderia aquecer e arrefecer a água no circuito primário e o circuito secundário está ligado ao condensador e evaporador. Esta modelação foi baseada no *template* de “GSHP Water-to-Water HP, Heated Floor, Chilled Beams”, em que se retiraram as vigas arrefecidas, para colocar ventilação com volume de ar variável. Isto foi feito, pois o programa não admite ter aquecimento e arrefecimento na mesma zona, tendo de se usar uma solução de recurso, criando uma zona fictícia.

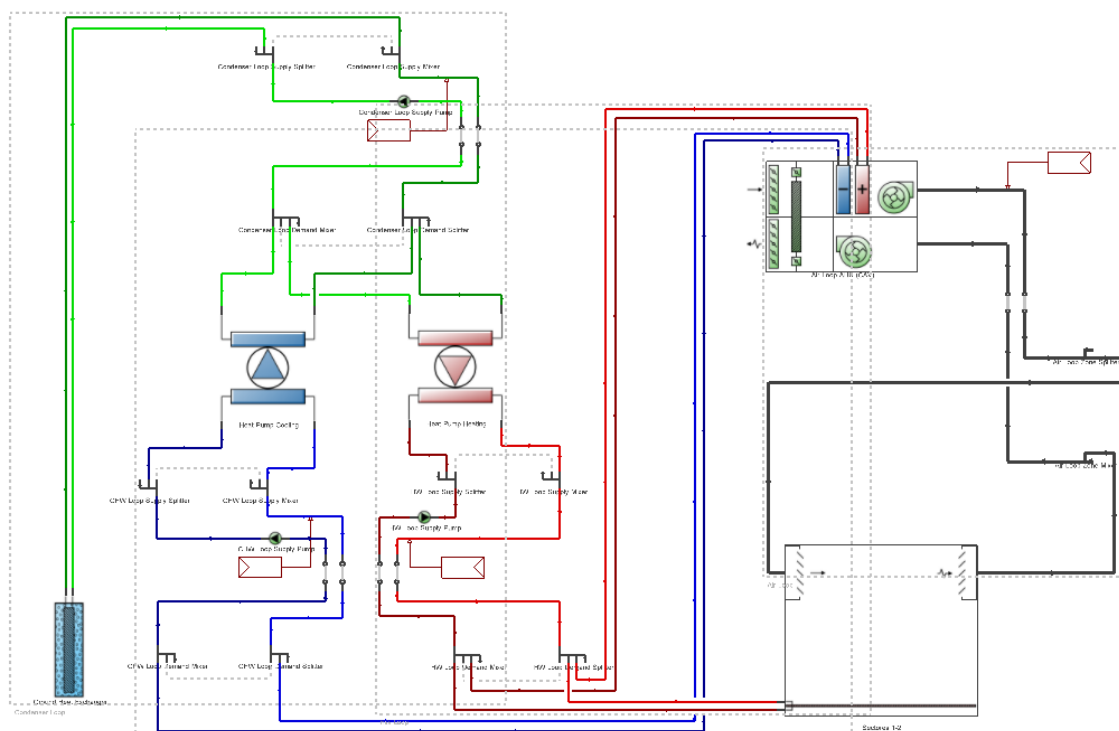
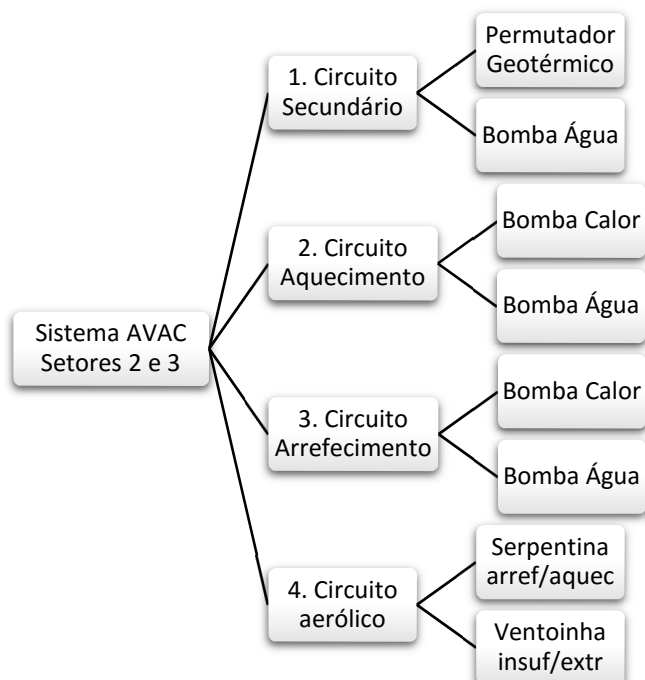


Figura 17 – Representação do sistema de climatização dos Setores 2 e 3 com geotermia, piso radiante e UTA

O sistema geotérmico modelado no programa apresenta a seguinte hierarquia:



- 1- O circuito secundário foi parametrizado conforme mostra a Figura 18. Existem 10 furos geotérmicos no setor 2 e 14 no setor 3. Assim, escolheu-se o template

com 24 furos que coincidiu com o número de furos dos dois setores. Alterou-se apenas o valor da profundidade de 76m, para 150m que é o valor real, uma vez que a alteração dos outros valores obriga a fazer um cálculo dos coeficientes que devem ser introduzidos no separador “G Function Data” utilizando programas específicos. No que diz respeito à bomba de circulação de água, foram mantidos todos os parâmetros escolhidos por omissão pelo *DesignBuilder*, pelo facto da alteração da potência da bomba para a soma das potências das bombas que existem no edifício levarem a simulação a falhar.

Ground heat exchanger Data		Pump Data	
General		General	
Name	Ground Heat Exchanger	Name	Condenser Loop Supply Pump
Template	U-tube 76m 24-boreholes	Type	2-Variable speed
Type	1-Vertical	Pump Settings	
Ground Heat Exchanger - Vertical		Rated power consumption (W)	Autosize
Ground temperature (°C)	13.375	Rated pump head (Pa)	20000.00
Flow rate		Motor efficiency	0.90
Design flow rate (m³/s)	0.00834	Fraction of motor inefficiencies to fluid stream	0.00
Maximum flow rate (m³/s)	0.00834	Minimum flow rate (m³/s)	0.000000
Borehole and Pipe Geometry		Pump control type	2-Intermittent
Number of boreholes	20	Part Load Performance	
Borehole length (m)	150.0	Performance curve template	Pump Part-Load Power, Default
Borehole radius (m)	0.063508	Pump Coefficients	
Pipe outer diameter (m)	0.0266667	Pump coefficient 1	0.0000000
U-tube distance (m)	0.0253977	Pump coefficient 2	1.0000000
Pipe thickness (m)	0.00241285	Pump coefficient 3	0.0000000
Ground, Grout and Pipe Properties		Pump coefficient 4	0.0000000
Ground thermal conductivity (W/m-K)	0.692626		
Ground thermal heat capacity (J/m³-K)	2347000.00		
Grout thermal conductivity (W/m-K)	0.692626		
Pipe thermal conductivity (W/m-K)	0.391312		
Others			
Maximum length of simulation	1		
G-function reference ratio	0.000836		

Figura 18 – Parâmetros do circuito secundário: coletor geotérmico e bomba de água

2 e 3 – Os parâmetros que se podem alterar para o circuito quente e frio da bomba de calor geotérmica são os mesmos, sendo mostrados na Figura 19. Da lista de bombas de calor da base de dados, escolheram-se aquelas que tinham uma potência próxima da soma das potências reais e substituiu-se o valor pré-definido por essa soma, mantendo o resto dos valores da janela inalterados, pois são desconhecidos. Cada um destes circuitos tem uma bomba de circulação de água igual à do ponto 1, cujos parâmetros foram mantidos, tal como na Figura 18 à direita.

Water-to-Water Heat Pump Heating Data	Water-to-Water Heat Pump Cooling Data
General	General
Name	Heat Pump Heating
Template	ClimateMaster TMW360 - heating
Type	1-Equation Fit
Rated flow rate and capacity	Rated flow rate and capacity
Rated load side flow rate (m3/s)	0.005680
Rated source side flow rate (m3/s)	0.005680
Rated heating capacity (W)	199920
Rated heating power consumption (W)	46680
Heating Capacity Coefficients	Cooling Capacity Coefficients
Heating capacity coefficient 1	-2.96261266
Heating capacity coefficient 2	-0.94030292
Heating capacity coefficient 3	4.58167899
Heating capacity coefficient 4	0.02652262
Heating capacity coefficient 5	0.07833837
Heating Compressor Power Coefficients	Cooling Compressor Power Coefficients
Heating compressor power coefficient 1	-4.70138202
Heating compressor power coefficient 2	3.96594683
Heating compressor power coefficient 3	1.15914816
Heating compressor power coefficient 4	-0.12510742
Heating compressor power coefficient 5	0.02619996
Advanced	Advanced
Cycle time (hr)	0.01610

Figura 19 – Parâmetros bomba de calor: aquecimento e arrefecimento

4- Em relação à UTA, foram mantidos todos os parâmetros definidos por omissão, sendo os caudais dimensionados de acordo com as necessidades de arrefecimento e aquecimento, pelo facto de não existirem informações sobre as UTAs que permitissem preencher estas janelas.

Water Cooling Coil Data	Heating Coil Data
Cooling Coil	Heating Coil
General	General
Name	Vent Aq Arr AHU Cooling Coil
Type	2-Water with detailed geometry
Maximum water flow rate (m3/s)	Autosize
Minimum air flow area (m2)	Autosize
Coil depth (m)	Autosize
Tube Settings	Tube Settings
Tube outside surface area (m2)	Autosize
Total tube inside area (m2)	Autosize
Tube inside diameter (m)	0.014
Tube outside diameter (m)	0.016
Tube thermal conductivity (W/m-K)	386.000
Tube depth spacing (m)	0.026
Number of tube rows	4
Number of tubes per row	Autosize
Fin Settings	Fin Settings
Fin surface area (m2)	Autosize
Fin diameter (m)	Autosize
Fin thickness (m)	0.00150
Fin thermal conductivity (W/m-K)	204.000
Fin spacing (m)	0.00180
Operation	Operation
Availability schedule	On 24/7
Controller	Controller
Control variable	1-Temperature
Control action	2-Reverse
Actuator variable	1-Flow
Controller convergence tolerance (deltaC)	Autosize
Maximum actuated flow (m3/s)	Autosize
Minimum actuated flow (m3/s)	0

Figura 20 – Parâmetros das serpentinas de arrefecimento e aquecimento, respetivamente



O setor 1 tem a bomba de calor inoperacional, de tal forma que não funcionou desde a construção do edifício até ao presente. Dessa forma o sistema não aquece nem arrefece, mas apenas ventila (Figura 21). O único aquecimento que poderá ter, é o dos painéis solares de ar, mas que foi possível verificar na visita à escola que o ambiente servido por essa bomba de calor estava desconfortavelmente frio. O modelo possui para o setor 1, uma UTA com volume de ar variável e recuperação de calor. Todos os parâmetros pré-definidos foram mantidos. Apesar de se conhecer o modelo de uma das UTAs a partir da chapa de identificação, o facto de serem modulares não permite conhecer todos os módulos que estão no interior das UTAs que estão instaladas. Consultando o catálogo do fabricante *GEA*, é possível ver uma vasta gama de módulos que podem ser montados, consoante as necessidades do sistema, sendo o único módulo presente na documentação do projeto o recuperador de calor.

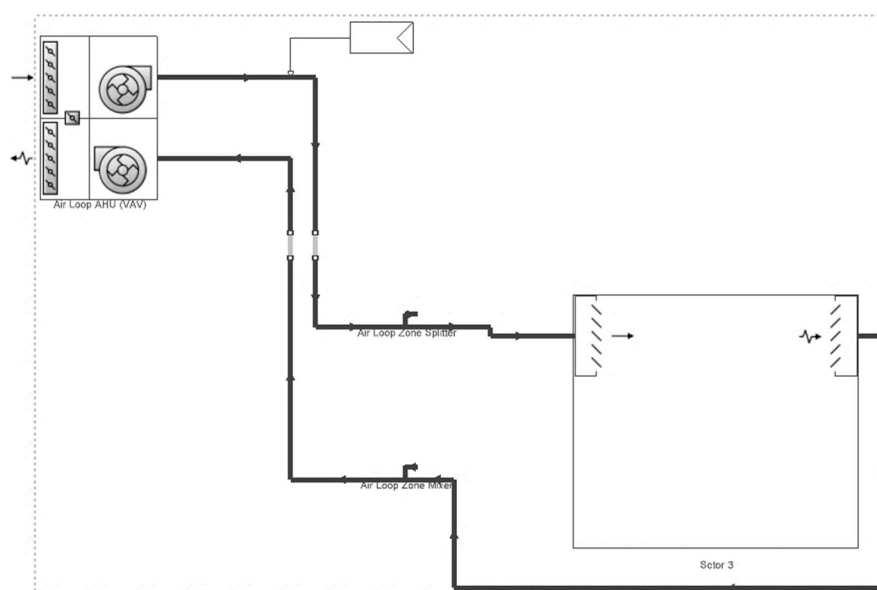


Figura 21 – Representação do sistema de climatização no Setor 1, sem aquecimento nem arrefecimento

No caso dos balneários, das instalações sanitárias e da cozinha, existe apenas extração de ar (Figura 22). Como tal no modelo, consta apenas um ventilador de extração, como é possível ver na mesma figura. A potência dos ventiladores de extração é conhecida pelo projeto de AVAC do edifício. Na realidade a extração de calor é feita pelas UTAs que insuflam o ar tratado, mas não é possível modelar o sistema dessa forma.

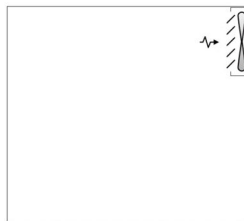


Figura 22 – Representação de uma sala com ventilação de extração

Por último, os bastidores informáticos dispõem de sistemas de ar condicionado de expansão direta *split*. Na realidade a forma mais correta de modelar seria usar um VRF (*Variable Refrigerant Flow*), que é o que mais se assemelha a um aparelho de ar condicionado com sistema de inversor para controlar a velocidade do compressor. No entanto com esse sistema o *DesignBuilder* dava erros durante a simulação, que não foi possível resolver, tendo-se de escolher o sistema PTAC (*Packaged Terminal Air Conditioning*), que é um ar condicionado integrado, que ao contrário dos *split*, fica é instalado numa abertura em que uma parte fica virada para o exterior e outra no interior. Na prática, continua a ser um sistema de expansão direta, portanto continua a ser representativo da realidade, desde que se introduzam os dados corretos. Dado que o sistema apenas arrefece, colocou-se a potência de arrefecimento de 5 kW nas duas baterias e definiu-se o perfil da bateria de aquecimento para “sempre desligado”.

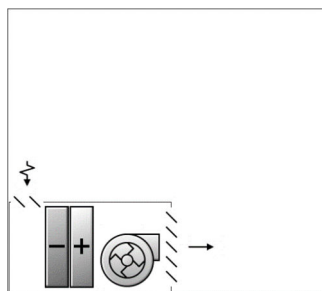


Figura 23 – Representação do sistema AVAC dos Bastidores

Outra limitação do programa *DesignBuilder* é o facto de não ser possível modelar painéis solares de pré-aquecimento de ar, embora o programa base, *EnergyPlus*, já tenha essa possibilidade.

## 4.4 PERFIS DE UTILIZAÇÃO

Neste momento ainda é difícil definir perfis de utilização (Tabela 3) que sejam fidedignos, dado que a ocupação e a utilização dos equipamentos são bastante variáveis. Isto prende-se com o facto de a instituição funcionar há pouco tempo neste edifício, o que leva a que não funcione em pleno, tanto a nível do número de pessoas que frequentam o local, como certos equipamentos que consomem muita energia, podem ser usados intensivamente quando é necessário, mas também podem estar semanas ou meses sem serem ligados.

Tabela 3 – Perfis de utilização de ocupação/iluminação/equipamentos/AVAC usados na parametrização do modelo

Nome Perfil	Horário	Localização
Off	Sempre desligado	Sala 2/Zona Téc/Courettes
Residual	Sempre desligado	Auditório/IS/Arq. Morto
24/7	Sempre ligado	Eq. Bastidores, Frigoríficos
3h/semana	Segundas/Quartas/Sextas-feiras, 10-11h	Sala Reuniões
6h/semana	Segundas/Quartas/Sextas-feiras, 10-12h	Oficina Prototipagem
Aulas Práticas Manhã	Seg.-Sex., 09-12h	Oficinas
Aulas todo o Dia	Seg.-Sex., 09-13; 14-22h	Salas de aulas
Aulas todo o Dia (sem pausa)	Seg.-Sex., 09-22h	Eq. Salas de aulas
Serviços Administrativos/Labs	Seg.-Sex., 9-12h e 14-18h	Secretaria, Gabinetes, Laboratórios
Cozinha	Seg.-Sex., 12-13	Forno
Segurança Noite	Seg.-Sex. 17-09h	Portaria

## 4.5 ZONAMENTO TÉRMICO

O tipo de simulação do programa é multizona, o que significa o edifício é composto por diferentes zonas que podem ter atividades, orientações, equipamentos e serem climatizados por AVACs diferentes. Isso torna a simulação mais fiável e mais detalhada do que considerar todo o edifício uma só zona. Isso implica dividir o trabalho em diferentes zonas que se podem agrupar, simplificando o modelo e diminuindo o tempo de simulação.

O critério para se agrupar as zonas deve ter em conta as salas contíguas, que têm a mesma orientação e são servidas pelos mesmos AVACs ou pelo mesmo tipo de AVAC, que devem obrigatoriamente ter o mesmo perfil de utilização. No que diz respeito à densidade de equipamento, ocupantes e iluminação, deve-se somar as potências e dividir

pela soma das áreas. Se houver mais do que um AVAC do mesmo tipo, as potências devem ser somadas. Os caudais volúmicos de ventilação devem ser somados ou, no caso de estarem em renovações por hora, pode-se fazer a média, caso sejam diferentes.

As salas que foram juntadas para se tornarem numa zona (Figura 24) são:

1.1.4/5	Secretaria e Sala de apoio - porta de separação sempre aberta
1.3.3/4, 9/10, 11/12, 13/14, 15/16	Salas de aula - biombo de separação sempre aberto
1.7.3/4, 6/7/8/9/10/11/12, 13/14,	Gabinetes dos professores – mesma atividade/orientação/AVAC
1.7.15/16	Arquivo morto - mesma atividade/orientação/sem AVAC
1.9.2/3/4/5, 6/7, 8/9, 10/11, 12/13, 14/15	Instalações Sanitárias – masculinas e femininas
1.10.1/2/3/4/5/6	Corredores – mesmo AVAC/portas de separação sempre abertas
1.10.7/8/9/10/11/Zona de Estar/Bar	Corredores/Zona Estar/Bar – mesmo AVAC/sem separação



Figura 24 – Salas que se transformaram numa zona térmica única

## 4.6 ANÁLISE DA RESPOSTA QUALITATIVA DO MODELO DESENVOLVIDO

O modelo desenvolvido representa com um grau de fiabilidade bastante razoável o edifício ao nível da envolvente. A geometria do edifício foi reproduzida de forma fiel à realidade, tendo-se decalcado a planta do edifício. Foram feitas algumas simplificações para reproduzir as palas de sombreamento exterior (Figura 25), nomeadamente terem sido modeladas sem espessura. Mesmo assim é bem visível o efeito das palas de sombreamento no verão e no inverno, que é mostrado na Discussão de Resultados.

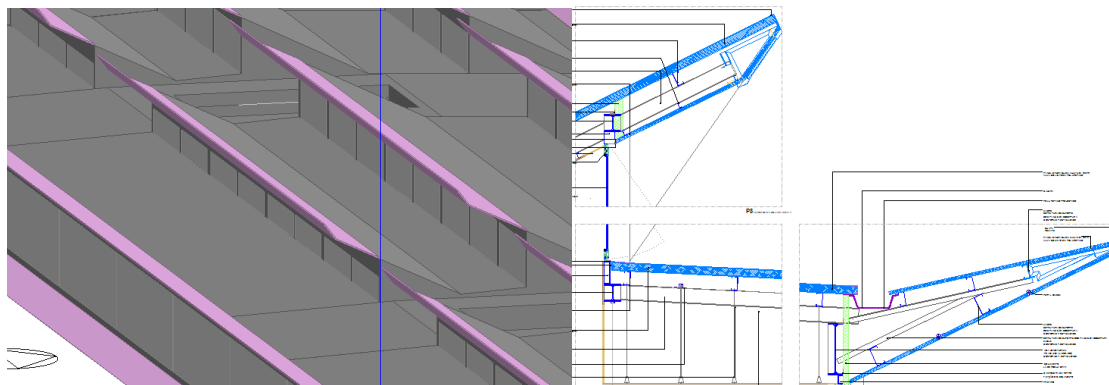


Figura 25 – Comparação entre o modelo simplificado e a vista de corte das palas de sombreamento

É possível ver nos resultados o efeito da inércia térmica do edifício, que só é possível modelar se forem introduzidas as espessuras das paredes, a massa volúmica e o calor específico do material, ou utilizados os materiais definidos em detalhe que estão presentes na base de dados dos materiais do DesignBuilder. A Figura 26 mostra que a temperatura interior varia menos do que a temperatura exterior, numa zona que não é influenciada pelos sistemas AVAC, sinal da inércia térmica do edifício.

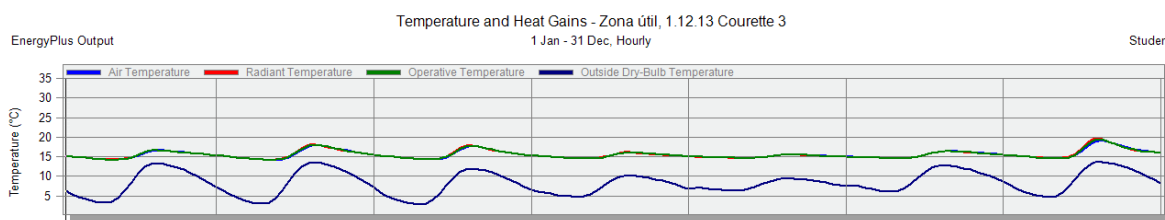


Figura 26 – Variação da temperatura interior e exterior numa zona não climatizada, na primeira semana de Janeiro

Assim sendo, o modelo mesmo não estando calibrado, permite apreciar o efeito das alterações que se façam envolvente do edifício em relação à situação original.

## 4.7 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A calibração do modelo de simulação dinâmica não pôde ser feita, pelo facto de não existirem dados históricos de consumos energéticos suficientes, à altura da escrita deste documento – apenas desde maio de 2016, ou seja, dois meses (maio e junho). Por isso, não tem cabimento fazer a determinação da classe energética do edifício sem ter um modelo que esteja suficientemente próximo da realidade.



# CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

---

## 5.1 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Em primeiro lugar fez-se uma simulação com o Modelo 1, em *Autosize* para determinar a potência máxima de aquecimento e arrefecimento.

Como é possível observar no Anexo III, a potência máxima necessária de aquecimento é de 222,5 kW, que ocorreu no dia 21 de janeiro, das 6 às 7 horas da manhã, que foi o período mais frio da simulação. Já no período do verão, foram necessários 300,5 kW de potência para arrefecer o edifício, que aconteceu entre as 14 e as 15 do dia 21 de julho, que foi o dia mais quente da simulação (Anexo III).

Os resultados do modelo mostram maiores necessidades de arrefecimento do que de aquecimento (Tabela 4). Isto pode ser explicado pelo facto de o edifício possuir equipamentos que produzem calor e que no inverno fazem diminuir as necessidades de aquecimento, fazendo precisamente o contrário no verão.

Tabela 4 – Comparação entre a potência instalada e a necessidade de potência simulada

Potência Total	P. Nominal Instalada (kW)	Máximo do Modelo 2 (kW)	Diferença (kW)
Aquecimento	283,58	222,55	+61,03
Arrefecimento	235,00	300,52	-65,52

As bombas de calor geotérmicas têm um rendimento **nominal** maior no inverno do que no verão, que é quando o modelo aponta para as maiores necessidades. Isto representa uma falta de potência de arrefecimento e de uma reserva de potência de aquecimento nas piores situações simuladas, e que são da mesma ordem de grandeza (Tabela 4), sugerindo que os resultados do modelo possam ser plausíveis. Uma explicação para tal ter acontecido, pode ter sido o facto dos modelos utilizados para projetar o sistema AVAC não terem partido dos mesmos pressupostos que o modelo deste trabalho, que foi realizado depois do edifício existir e ter os equipamentos em utilização, embora ainda não em pleno.

Uma consideração a ser feita e de bastante importância, é o facto de os modelos não entrarem em conta com a produção de AQS, mas apenas a climatização. Por isso, a reserva de potência para aquecer pode ser usada para aquecer a água sanitária e não é conhecida a utilização da água quente, nem foi calculada a potência necessária. No entanto, relembra-se que o sistema de AQS tem outras formas de aquecer sem recorrer à geotermia.

#### ENVIDRAÇADOS/ORIENTAÇÃO – HETEROGENEIDADES

Em relação aos envidraçados, o valor calculado pelo *DesignBuilder*, segundo a norma ISO 15099/NFRC para o coeficiente de transmissão térmica (U) é de  $1.640 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ . Este valor é superior ao valor previsto no projeto de eficiência energética (ENERES, 2010),  $1.4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , mas bastante melhor que a solução de referência,  $3.3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

É possível observar no Anexo IV que para as salas 1.3.5 (CET1) e 1.3.6 (CET 2), que são contíguas e semelhantes a nível de utilização, que os ganhos solares são completamente diferentes. Ambas as salas têm janelas voltadas a sul, mas enquanto a primeira (05) tem as janelas na cobertura, a segunda (06) tem as janelas na parede sul da fachada (Figura 27). Por isso, têm ganhos solares diferentes.

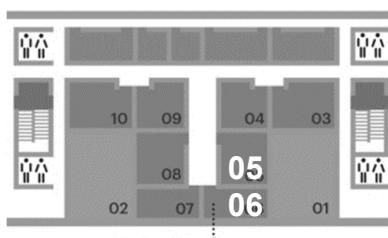


Figura 27 – Localização das salas 1.3.5 (05) e 1.3.6 (06)

Em primeiro lugar, os ganhos solares são maiores no inverno do que no verão, pelo facto das palas de sombreamento estarem feitas de forma a deixar entrar a radiação solar direta no inverno, em ambos os casos. Mas aquilo que as distingue, é que a sala 1.3.6 tem ganhos solares que ultrapassam os 7 kW, ao passo que na outra sala têm 1kW no máximo, isto no inverno. No verão os ganhos pelos envidraçados são inferiores (3 kW e 0,5 kW), mas mesmo assim a diferença é de cerca de 6 vezes.

É algo perfeitamente natural haver salas no mesmo edifício com diferentes ganhos solares, porém isso é um problema quando são climatizadas pelo mesmo equipamento e o mesmo ponto de ajuste. É difícil garantir uma temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , quando, as duas salas que, apesar de terem uma área de piso radiante não muito diferente e serem



atendidas pelas mesma UTA, têm ganhos solares que diferem em sete vezes (no inverno). Isso resulta em ter temperaturas demasiado altas, mesmo no inverno na sala envidraçada.

O mesmo acontece para os gabinetes e para as salas orientadas a sul. Diferentes orientações e áreas de envidraçados climatizadas com os mesmos equipamentos e com o mesmo ponto de ajuste, que não é possível garantir.

Todavia, é sabido que a potência nominal do equipamento não está a ser produzida pelas bombas geotérmicas. Começando logo pela bomba geotérmica nº 1, ela está inoperacional por disparar passado menos de um minuto. Apenas a bomba nº 2 funciona corretamente. A bomba geotérmica nº 3, nem sempre é capaz de fornecer calor suficiente para os espaços, pelo facto das temperaturas interiores em muitas salas não chegarem ao ponto de ajuste de 20°C. Apesar de não ter sido medido com um termómetro, existe a informação de que os ocupantes do edifício sentem desconforto e alguns usam luvas quando trabalham no computador. Foi possível sentir o desconforto térmico durante as visitas e observar a presença de aquecedores elétricos usados pelos ocupantes do edifício.

#### ENVOLVENTE OPACA

No que concerne à envolvente opaca, pode-se estabelecer uma comparação entre os coeficientes de transmissão térmica (U) presentes na legislação e os das envolventes caracterizadas no *DesignBuilder*.

Tabela 5 – Comparativo entre os coeficientes U de referência e máximo para a região I2/V2 e o U da solução construtiva do edifício com pior performance

	<b>U<sub>ref</sub> (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U<sub>máx</sub> (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
<b>Paredes</b>	0.60	1.60	0.505
<b>Cobertura</b>	0.45	1.00	0.335
<b>Piso</b>	0.45	1.00	0.922

Para os elementos verticais (paredes), aquele que possui pior performance é melhor do que a solução de referência. Todos os outros têm um U inferior (mais isolado), sendo a melhor parede a que tem um U de 0.448 W/m<sup>2</sup>.°C, que está presente na circulação e é atingido esse valor através do material Celenit em conjunto com o painel *sandwich*.

Para a cobertura, o valor do U é inferior à solução de referência, o que é um indicador de um bom isolamento térmico. Contudo, para o piso exterior, o cálculo do U deu um resultado de 0.922 W/m<sup>2</sup>.°C, que é um valor superior ao valor de referência e perto do valor máximo que é permitido por lei, para o local de implantação do edifício, dado que existe apenas uma camada de isolamento de 20 mm a cobrir a laje de betão, que é

condutora de calor. Isso mostra que o isolamento do piso é insuficiente, causando a perda de calor produzido pelo piso radiante pela superfície inferior do piso.

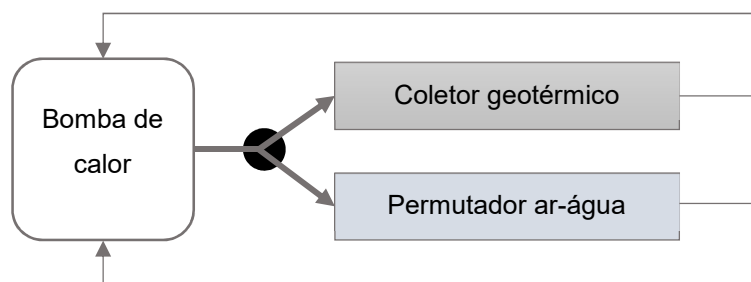
## 5.2 MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA SUGERIDAS

### 5.2.1 MEDIDA 1

É um facto que as bombas de calor geotérmicas não estão a funcionar ao máximo das suas potencialidades, mesmo admitindo que estão bem dimensionadas. Isso prende-se com o facto da transferência de calor no circuito primário ou secundário não estar a ser feita de forma eficaz.

No circuito primário, ou da procura, o problema poderá ser explicado pelo funcionamento deficiente das bombas que fazem o fluido movimentar-se e libertar o calor para as salas ou de outros problemas no circuito, como fugas ou a existência de ar na tubagem, que não foi purgado. Se a água não se movimentar, não liberta o calor e este acumula-se, fazendo a bomba desligar-se. No circuito secundário, o mesmo problema pode acontecer, pelas mesmas razões ou poderá ter origem nos próprios coletores de calor geotérmicos que não estão a realizar as trocas de calor eficazmente. Isso pode acontecer quando existem falhas no projeto ou na instalação dos coletores e bombas.

Uma medida para melhorar a situação é ter uma forma alternativa de fazer a troca de calor, quando os coletores geotérmicos não conseguem fazê-lo. Isso consegue-se através de uma válvula de três vias que controla o caudal que vai para cada permutador de calor, com base nas leituras de temperaturas de ida e retorno (Esquema 9). Se as temperaturas estiverem próximas, a transferência de calor está a diminuir pois o furo geotérmico não consegue receber ou fornecer mais calor. Nessa altura, a válvula deve direccionar cada vez mais água de um permutador para o outro (por exemplo, uma torre de arrefecimento ou um permutador ar-água).



Esquema 9– Método alternativo para troca de calor

### 5.2.2 MEDIDA 2

Cada uma das três zonas governadas por um sistema de controlo tem, ao mesmo tempo, salas com atividades diferentes, orientações opostas e, consequentemente, exposições solares extremamente diferentes, o que se traduz em desconforto para os ocupantes das salas. Na zona dos gabinetes seria interessante ter uma temperatura mais elevada, pelo facto de a atividade dos ocupantes ser mais sedentária, ao passo que a sul, onde estão os laboratórios, a temperatura poderia ser mais baixa, pois a atividade física é maior, existem ganhos maiores devido aos equipamentos e alguns laboratórios têm pouco tempo de ocupação.

O edifício possui um piso radiante cuja distribuição é feita por vários circuitos, com uma válvula manual para cada circuito. No entanto, uma falha na implementação é não se poder controlar a temperatura nas diferentes zonas do edifício, pois não existem sensores de temperatura em cada zona nem válvulas atuadas pelo sistema de controlo para direcionar o fluxo de água quente para as zonas onde é mais precisa e, eventualmente, fechar completamente o fluxo para as zonas sem necessidade de aquecimento.

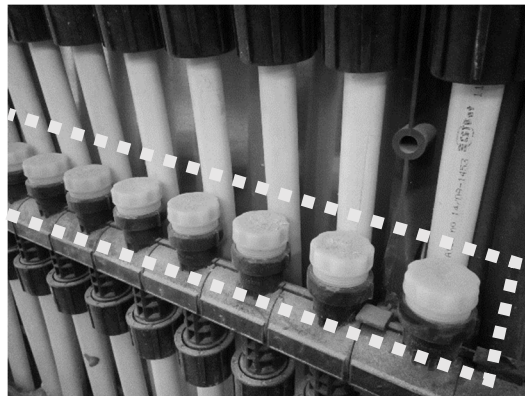


Figura 28 – Válvulas de abertura e fecho de caudal no coletor de retorno

Para o fazer, bastaria montar válvulas atuadas eletronicamente pelo sistema de controlo e fazê-las abrir através da informação dada pelos sensores de temperatura à entrada e à saída do circuito. Caso as temperaturas fossem muito próximas, isso seria sinal de que o piso radiante não estaria a perder calor e, por isso, o caudal de água poderia ser limitado parcial ou totalmente. Existem soluções no mercado para fazer o controlo da temperatura do piso radiante de forma independente, com base nos sensores do piso radiante e de temperatura interior.

No entanto, em relação às UTAs, o ar é admitido nas salas à temperatura que sair das grelhas de ventilação e condicionado pelo ponto de ajuste da UTA e da distância da

UTA à grelha de ventilação. Assim, não é possível aquecer mais ou menos, sem alterar o caudal de ar admitido, o que pode provocar uma renovação de ar insuficiente. Infelizmente, esta medida não resolveria o problema ao nível das UTAs, pois obrigaria a alterar as condutas de ar do edifício e, eventualmente, alterar o posicionamento das mesmas no edifício.

Esse problema não se conseguiu simular no *DesignBuilder*, pelo facto de se poder escolher pontos de ajuste diferentes para cada sala, independentemente de o calor estar a ser produzido pelo mesmo sistema, sendo por esse motivo, impossível de simular o efeito dessa medida.

O problema da heterogeneidade de temperaturas pode ser, também, motivado pelo facto dos caudais do piso radiante não estarem equilibrados conforme o comprimento da tubagem. Após a inspeção de uma caixa de coletores, não foi possível verificar se as válvulas de balanceamento dos circuitos foram reguladas, pelo facto da acumulação de depósitos e da opacidade da água esconder o estado das válvulas (Figura 29).



Figura 29 – Válvulas de balanceamento dos caudais dos circuitos do piso radiante

### 5.2.3 MEDIDA 3

É mostrado na planta dos Circuitos das Lajes Ativas que existe piso radiante também no Bastidor 1 (Figura 30), o que não deveria acontecer na realidade, uma vez que essa sala precisa de ser permanentemente arrefecida, logo não faria sentido aqui existir qualquer sistema de aquecimento. Além do mais, é possível verificar na Figura 30, que o Bastidor 1 e a Portaria pertencem ao mesmo circuito, como se tratasse de uma sala única que foi dividida posteriormente em duas, com uma parede.

Caso o piso esteja mesmo montado nessa sala, a medida passaria por fechar a água desse circuito do piso radiante e utilizar outra forma de aquecer a portaria, para evitar ter de destruir o piso para refazer o circuito, uma vez que o esquema mostra que não é fácil isolar os circuitos de ambas as salas. Um radiador/convetor, seria uma possibilidade, embora as temperaturas da água aquecida pelas bombas de calor possam não ser suficientes para aquecer a portaria. Uma possibilidade mais eficaz, seria ter um pequeno aparelho de ar condicionado dedicado à portaria, com possibilidade de arrefecimento e aquecimento.

A colocação da portaria neste lugar, sugere que tenha sido uma solução de recurso, não só pela colocação do piso radiante, como pelo facto de essa divisão não ter janelas com abertura para o exterior e a ventilação dessa sala ser insuficiente. Uma solução que melhoraria o problema, seria retirar o vidro que separa a portaria do átrio, podendo permanecer esse posto de trabalho no mesmo local, mas fazendo parte do átrio, por forma a pode-se desligar o circuito de piso radiante se arrefecer demasiado a zona da portaria e continuando a ser aquecida pelos outros circuitos e sistema de ventilação.

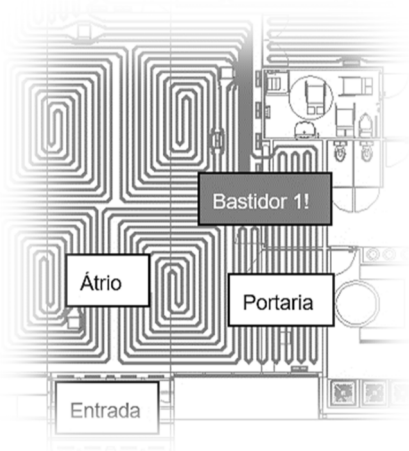


Figura 30 – Pormenor da rede hidrónica do piso radiante, presente no Bastidor 1, (Chama, Equipamentos Técnicos, S.A., 2013)

## 5.2.4 MEDIDA 4

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica do piso mostra que o isolamento da face inferior do piso radiante é insuficiente ( $U=0.922 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ), sendo o máximo previsto por lei  $U=1 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . Assim uma medida com vista a diminuir as perdas de calor do edifício, seria aumentar a camada de isolamento de 20 mm para 60 mm coloca a performance do piso ( $U=0.398 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ) ao nível do resto do edifício, em torno de  $0.4 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$

O efeito da medida foi simulado com base no Modelo 2, na semana mais fria de inverno, em que uma parte do edifício está a ser climatizada pelas bombas de calor geotérmicas (à qual pertence a Circulação 2) e outra parte está apenas a ser ventilada, pois a bomba de calor não funciona (Circulação 1). Onde o piso radiante está a ser aquecido, é possível verificar que, pelo facto de o isolamento ser melhorado, os ganhos térmicos pelo piso aumentam entre 7 e 17%. Onde o aquecimento do piso não está ligado, as perdas de calor diminuem consideravelmente, em cerca de 40%. (Tabela 6)

Tabela 6 – Consumo anual antes e depois de aplicar mais isolamento na laje de betão

	Antes (kWh)	Depois (kWh)	Diferença (%)
<b>Circulação 1</b>	-504	-308	-39
<b>Sala 1</b>	-40.5	-24.8	-39
<b>Sala Reuniões 1.6.2</b>	-50.0	-28.1	-44
<b>Circulação 2</b>	1571	1692	7.1
<b>Gabinetes 1.7.6-12</b>	333	367	10
<b>Biblioteca</b>	201	236	17

## 5.2.5 MEDIDA 5

O sistema de piso radiante, devido à sua inércia térmica elevada, é incompatível com **fachadas totalmente envidraçadas**, como a fachada Sul. A documentação do programa (DesignBuilder, 2016) diz que o sobreaquecimento é um problema vulgar em pisos radiantes, nomeadamente em manhãs frias de inverno em que as necessidades de aquecimento são elevadas, mas quando os ganhos solares são elevados durante o dia, somam-se ao calor que continua a ser emitido pelo piso de forma descontrolada, mesmo depois de o desativar. Ou seja, como o sistema é mais lento a responder do que as condições climáticas, não convém ter demasiadas trocas de calor com o exterior por radiação. Com efeito, a inércia térmica pode ser vantajosa, se for tirado partido dela, caso contrário, pode tornar-se num problema.

No presente, existem dispositivos de sombreamento interiores, que não são muito eficazes, pois deixam entrar a radiação na sala e só depois a filtram. Por outro lado, eles

cobrem a janela não deixando ver se as janelas estão abertas e impedindo a circulação de ar. Nas janelas que se encontram na cobertura, eles são elétricos e opacos. O que se verifica é que estes estores acabam por ficar fechados na maioria das salas, porque com eles abertos é impossível visualizar projeções durante o dia.

Na sequência dos problemas causados pelo excesso de ganhos solares no inverno, apenas na fachada sul e que levam à necessidade de arrefecer e aquecer no mesmo dia, sugere-se a montagem de dispositivos de sombreamento de lâminas pelo exterior que permitam diminuir os ganhos solares quando eles estão em excesso e deixar passar um nível de luminosidade adequado, mantendo um arejamento das salas, ao mesmo tempo.

O efeito desta medida, foi modelado utilizando o Modelo 1, admitindo que o edifício tem um sistema de AVAC que garante todas as necessidades de aquecimento e arrefecimento em todas as divisões e numa semana de inverno, em que há mais ganhos solares pelos envidraçados (entre 5/fev e 12/fev). A diferença entre o cenário inicial e o cenário final, é passagem dos estores de rolo medianamente opacos do interior para estores venezianos de exterior com tiras de metal de 80 mm (medida mais frequente), mantendo o fecho quando os ganhos solares ultrapassarem os  $300 \text{ W/m}^2$ , tal como é a referência prevista pela legislação.

Mostrando os gráficos da portaria, por ser uma sala de pequenas dimensões com mais envidraçados, onde o problema é mais exacerbado (Anexo V), é possível verificar que com os estores pelo interior, as temperaturas operativas atingem os  $32^\circ\text{C}$  com  $15^\circ\text{C}$  no exterior! Com os estores exteriores em toda a fachada sul, consegue-se manter uma temperatura em torno dos  $20^\circ\text{C}$ , o que melhora o conforto. O *DesignBuilder* considera que a temperatura de conforto (quando  $\text{PVM}=0$ ) é em torno dos  $25^\circ\text{C}$ , no entanto seria mais correto considerar os  $20^\circ\text{C}$  uma temperatura confortável no inverno, pela maior habituação do corpo ao frio e a maior quantidade de roupa. Assim o PMV deixou de ser 2, que mostrava excesso de calor para -0.6 que é bastante mais perto do ponto ideal, que é o zero.

Alternativamente, podem ser usados vidros com tecnologia que permite regular a opacidade utilizando uma pequena corrente elétrica que altera as propriedades de transmissão de luz do vidro. Existem, também no mercado películas com o mesmo objetivo que podem ser aplicadas sem substituir o vidro. A evidente vantagem prende-se com o facto deste dispositivo não alterar a estética do edifício, estando completamente integrado. Já o inconveniente é o preço, que é bastante elevado.

Uma forma interessante de os implementar, seria ter os dispositivos controlados por um sistema que fosse fotossensível, mas com possibilidade de ser também controlado manualmente, de acordo com as preferências dos ocupantes.

### 5.2.6 MEDIDA 6

No presente, poucas janelas podem ser abertas e dessas, como são basculantes, abrem pouco e estão em lugares inacessíveis. Como consequência, não é aproveitada a orientação N-S do edifício para criar circulação de ar e arrefecer naturalmente o edifício. Havendo mais janelas com abertura, seria possível abri-las nas duas fachadas do edifício, criando uma corrente de ar que promove um arrefecimento e ventilação do edifício sem custo de energia.

A medida, com vista à economia de energia, seria ter a possibilidade de ter mais janelas com abertura e que pudessem ter uma maior abertura do que as que existem de momento. Ao mesmo tempo, minimizar o uso de AVAC para manter os espaços em condições de conforto, só o usando quando, de facto, fosse indispensável.

Indo mais longe com a medida, nas salas que apenas possuem janelas na cobertura, o sistema de abertura é feito através de manivelas manuais (Figura 31), que poderiam ser acionadas por um motor elétrico e, assim, serem controladas remotamente através do sistema de gestão integrado do edifício ou localmente, caso fosse necessário. Isso possibilitaria a programação da abertura e fecho em função das condições interiores e exteriores antes de recorrer aos sistemas de AVAC. Para minimizar desperdícios de energia, poder-se-ia desligar os sistemas AVAC automaticamente naquela sala, caso fosse detetada uma janela aberta.



Figura 31 - Manivela manual para abertura das janelas da cobertura

### 5.2.7 MEDIDA 7

O controlo da iluminação é feito na portaria e na biblioteca. No entanto não funciona como deveria, pelo que a iluminação interior está sempre ligada nas zonas de circulação, mesmo quando não é necessária, gerando aquecimento, consumo desnecessário e diminuindo a duração das lâmpadas. Na biblioteca as luzes estão acesas sendo necessário desligar a alimentação no quadro elétrico para as apagar.



Melhorar o sistema de controlo da iluminação é uma medida bastante simples, que seria possível realizar com custos mínimos, uma vez que as infraestruturas já existem.

A soma da potência das lâmpadas das circulações é de 5.97 kW. Admitindo que as lâmpadas estão acesas 11h/dia (9h-20h), isso traduz-se num consumo diário de 65.67 kWh. No entanto, apenas seria necessário tê-las ligadas cerca de 4 a 5 horas por dia de inverno, poupando 7 horas, ou seja, 41.79 kWh, que se traduziria em cerca de 5€ por dia (a 0.12 €/kWh). Por mês (21 dias úteis), a poupança seria, no mínimo, de 105€, que, chegaria para pagar a fatura de eletricidade de dois apartamentos, em média. A nível de emissões, para um fator de emissão de 327 gCO<sub>2</sub>/kWh (Galp Energia, 2016), diariamente deixariam de se produzir 13.7 kg de CO<sub>2</sub>.

### **5.2.8 MEDIDA 8**

A secretaria é uma sala que, apesar de ter uma área envidraçada de grandes dimensões, é uma sala fria na zona norte e a radiação que lá chega é difusa. Por isso, é necessário ter a iluminação artificial permanentemente ligada.

Uma forma de resolver o problema seria colocar túneis de luz por cima das secretárias para fornecer luz natural precisamente onde ela faz mais falta. Ao colocá-los, diminuir-se-iam os gastos com iluminação tanto em energia elétrica como com a compra de lâmpadas, recuperando o investimento mais tarde e diminuiria o impacto da atividade do edifício sobre o ambiente.

A potência luminosa é de cerca de 515W, contando com os balastos, o que num dia com 8 horas de serviço levaria a gastar-se 4.12 kWh de energia elétrica. Diminuindo para 4 horas de luz elétrica (no inverno), ao final de um mês, a poupança seria, pelo menos, de 5€ e 14 kg de CO<sub>2</sub> deixariam de ser libertados para a atmosfera. No verão, a poupança seria maior, podendo eventualmente eliminar por completo a necessidade de manter as luzes acesas durante o dia.

### **5.2.9 MEDIDA 9**

No que concerne à AQS, o edifício não tira partido dos painéis solares, pois eles estão instalados no lado Este do edifício, onde estão os balneários, que praticamente não são utilizados. Para além disso, nas torneiras das instalações sanitárias ao lado desses balneários perto das oficinas, não existe água quente, nem a respetiva canalização para as servir, que poderia ser útil para lavar as mãos no inverno.

Por outro lado, do extremo Oeste do edifício onde está situado o bar, onde há mais consumo de água quente, o aquecimento é feito por um cilindro termoacumulador por energia elétrica, que é bastante menos eficiente que por painéis solares. Outras salas que têm água quente são os balneários dos laboratórios 1.4.7 e 1.4.8.

A medida corretiva passa por montar os painéis solares mais perto do bar, para que seja aproveitado esse sistema sem, contudo, os colocar demasiado na zona que é sombreada pela vegetação a Oeste, que diminui a eficácia dos mesmos. Espera-se com esta medida diminuir os consumos com eletricidade para aquecimento de água e, por outro lado, deixar de gastar energia para alimentar a ventoinha do dissipador de calor dos painéis solares.

### **5.2.10 MEDIDA 10**

Relativamente à QAI, foi possível verificar alguns problemas, nomeadamente ao nível de humidades na zona do bar e de má ventilação em algumas salas.

Em relação à zona do bar, que está em contacto com a circulação, só existe uma única grelha de extração tamanho reduzido (Figura 32, à esquerda). A utilização do banho maria para manter a temperatura das refeições implica aquecer água durante toda a manhã, o que liberta grandes quantidades de vapor. A cozinha, não tem qualquer janela para o exterior, mas apenas uma pequena grelha de ventilação, com bastante sujidade, (Figura 32, à direita).

O problema poderia se melhorado com uma extração de ar sobre o banho maria, impedindo o excesso de humidade. Ao nível da cozinha a abertura de uma pequena janela para o exterior, melhoraria o problema da falta de renovação de ar e de excesso de temperatura, que é reportado. Outra forma de atenuar o problema é fazer uma manutenção regular das condutas e grelhas de ventilação, que por estarem sujas, a sua eficácia diminui significativamente, causando insuficiência na renovação de ar.

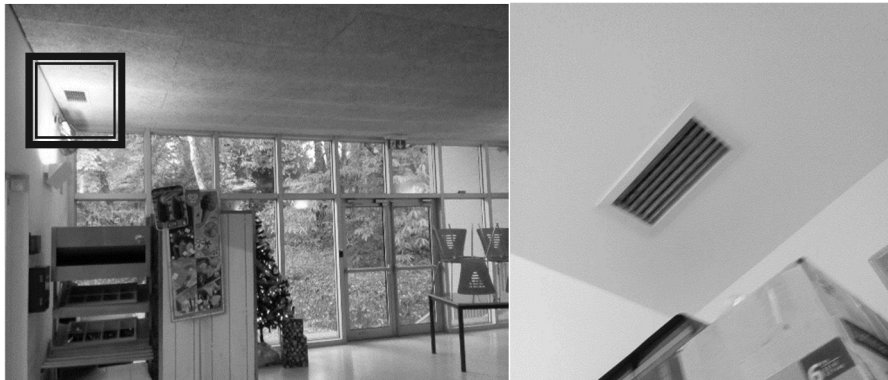


Figura 32 – À esquerda, a única grelha de ventilação próxima do bar, na zona de refeições. À direita grelha de ventilação da cozinha.

### 5.3 SÍNTESE

O primeiro passo para melhorar o conforto térmico do edifício é intervir sobre o sistema de climatização, de forma a corrigir as deficiências que provocam a falta de eficácia do mesmo. Neste caso em particular fala-se de corrigir a falha que provoca paragem da bomba geotérmica número 1, que provoca a falta de climatização de uma parte grande do edifício. Para além disso, é necessário colocar todas as bombas de calor a produzir e extrair calor o mais perto possível da potência nominal, ou seja, da capacidade para a qual foram desenhadas. Só tendo o sistema a funcionar de forma correta, se pode analisá-lo por uma perspetiva de eficiência energética do sistema e falar em otimizações da eficiência.

Numa segunda fase, tendo um sistema de climatização capaz de cumprir com o pretendido, pode-se intervir na envolvente, para que se tire o máximo de partido do mesmo por forma a melhorar o conforto térmico. Mesmo que se façam alterações à envolvente, mas saltando o primeiro passo, não se conseguirá melhorar o conforto térmico de forma significativa e satisfatória.

Em relação à iluminação e ao controlo da mesma, podem e devem ser implementadas independentemente dos passos acima mencionados, numa perspetiva de melhorar o consumo de energia e diminuição do impacto sobre o ambiente, sem diminuir o proveito obtido da mesma e, com isso, aumentar a eficiência energética. Não é de momento, evidente a vantagem da alteração das lâmpadas fluorescentes T5 do edifício, por lâmpadas LED, uma vez que é necessário fazer alterações nas armaduras, anulando o balastro eletrónico ou mesmo substituindo toda a armadura, para além da substituição da lâmpada. Isso pode resultar num custo elevado, caso se tenha de recorrer a mão de

obra externa para realizar esse serviço. Pelo contrário, se a alteração da armadura for simples e puder ser realizada com os recursos humanos da ESAN, o cenário altera-se podendo fazer sentido a substituição progressiva das lâmpadas fluorescentes que avariarem pelas de LED, tirando partido de todo o tempo de vida das lâmpadas existentes e como o preço das lâmpadas LED tem tido uma tendência descendente, a aquisição faseada, leva a sua aquisição se torne mais vantajosa no futuro.

# CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

---

## 6.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada a avaliação energética do edifício da ESAN, sendo esse o objetivo principal.

Em relação aos restantes objetivos, na fase inicial do projeto, foram recolhidos com sucesso os dados relativos à geometria do edifício e quase todos os dados relativos à composição da envolvente do edifício e aos sistemas de iluminação e equipamentos de climatização. A geometria do edifício foi modelada com sucesso, através da interface gráfica do *DesignBuilder*.

No entanto a parametrização do modelo não foi tão bem-sucedida pelo facto de o programa ter algumas limitações e, ao mesmo tempo excesso de parâmetros que é possível manipular, que são desconhecidos, não permitindo que o modelo seja completamente realista.

Pelo facto de não existirem ainda dados relativos ao historial do edifício, não foi feita uma calibração do modelo, logo o objetivo de determinar a classe de eficiência energética não foi atingido.

No entanto, os resultados das simulações continuam a permitir ter uma ideia do comportamento térmico do edifício, para que se possa propor algumas medidas e simular o impacto das mesmas ao nível da melhoria do conforto, que pode ser avaliado pelo modelo de Fanger. Este objetivo foi atingido, mas de forma parcial, uma vez que não foi possível simular o efeito de algumas alterações relativas aos sistemas de climatização e de controlo, tendo de se usar um modelo alternativo com um sistema de climatização individual para cada sala, diferente do que existe no edifício.

Para além dos objetivos, pode-se afirmar que:

1- Apesar de o modelo sugerir que possa existir um ligeiro deficit de potência para arrefecimento do edifício, não é conclusivo que exista um real subdimensionamento das bombas de calor geotérmicas, pelo facto de o modelo carecer de calibração.

2- Partindo do princípio que os sistemas estão devidamente dimensionados, estes não estão a realizar convenientemente as suas funções, estando a funcionar aquém da eficiência que deveriam.

3- Uma das bombas geotérmicas nunca esteve operacional, pelo facto de se desligar automaticamente após menos de um minuto da sua ligação. Isto acontece pelo facto de existir um dispositivo de segurança que interrompe o funcionamento do compressor, em caso de a temperatura do líquido frigorigéneo subir descontroladamente, para evitar danos no equipamento. O principal motivo prende-se com o facto de o calor produzido não estar a ser libertado do condensador para o piso radiante/UTAs (circuito primário) ou para o coletor geotérmico (circuito secundário).

## 6.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Uma das limitações do trabalho refere-se ao sistema de AVAC da modelação não estar exatamente de acordo com o que existe na realidade. Em relação aos coletores geotérmicos, não é possível parametrizá-los de forma correta, uma vez que o *DesignBuilder*, apesar de permitir manipular parâmetros como a profundidade, o diâmetro, a distância entre dos tubos, a condutividade do solo e do material que envolve os tubos, é explicitado que esses parâmetros não devem ser alterados após a seleção de um dos *templates* da biblioteca de coletores geotérmicos, pois essa alteração obriga a alterar um conjunto de variáveis com o nome de “*G-functions*” que devem ser geradas por programas específicos para projetar coletores subterrâneos, como o GLHEPRO e o GLD, que não são gratuitos. O mesmo acontece para questões relacionadas com o controlo do sistema de AVAC, dado que não é possível parametrizá-lo da mesma maneira que o sistema real, causando a não simulação do impacto das alterações que se façam no controlo dos sistemas de AVAC.

Outra limitação deste trabalho é a impossibilidade de ter um piso radiante que permita tanto aquecer, como arrefecer. Os pisos radiantes são designados de “*Heated Floors*” o que implica que tenham obrigatoriamente de ser ligados ao condensador das bombas de calor. A alternativa de se usar um teto radiante ou vigas arrefecidas (que são formas de arrefecimento radiante) não foi concretizada, pelo facto de o programa não permitir ter arrefecimento e aquecimento na mesma zona térmica, dado que, ao contrário da realidade, as bombas geotérmicas modeladas no programa não são reversíveis. Além disso, a geometria das salas, com “*holes*” a conectar espaços gera erros quando se utilizam tetos radiantes apenas numa simulação só durante o período de arrefecimento. Assim, teve de se desprezar o efeito do piso radiante arrefecido, que é algo aceitável pois, não se deve

usar água a temperaturas demasiado baixas, sob pena de causar a condensação do vapor de água presente no ar. Por isso, não é dos sistemas mais úteis para remoção de calor.

Neste trabalho não foi modelado o sistema de água quente sanitária, por uma questão de simplificação do modelo e economia de tempo. Essa decisão prendeu-se com o facto de não ser conhecida a quantidade de água quente usada no edifício, que é um dado importante para se poder analisar o desempenho do sistema. O consumo de AQS é reduzido, de momento, uma vez que os balneários, à data das visitas ao edifício, não estavam a ser usados para banhos, as refeições que a escola oferece são confeccionadas no exterior e a lavagem da loiça é feita em máquinas que têm resistências de aquecimento, sendo apenas usada alguma água quente para encher o lava-loiça onde é enxaguada a loiça antes de ser lavada.

Outro aspeto que o modelo não representa são os coletores solares para pré-aquecimento do ar. Apesar de o *EnergyPlus* ter essa possibilidade, o *DesignBuilder* não tem forma de os introduzir na sua interface, à data deste trabalho (2016). Para além disso, também não existe uma forma de implementar os túneis de luz, que existem no corredor central da ESAN e que seria de interesse simular o seu impacto se fossem usados na secretaria e respetiva sala de apoio.

Aquando da proposta de medidas, não foi feita uma avaliação económica das mesmas para determinar a viabilidade. No entanto, foi explicada a forma de o fazer na secção da metodologia.

## 6.3 PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO

Devido à falta de dados disponíveis, este trabalho está incompleto, pois o modelo não foi validado. Uma proposta de trabalho futuro bastante pertinente, seria voltar a abordar este edifício, de preferência daqui a 4 anos (2020), por forma a haver dados históricos de consumo de energia e que esses dados sejam representativos de uma utilização em pleno do edifício. Nessa altura, poder-se-ia fazer uma calibração do modelo e, com isso, seria também possível determinar a classe energética do edifício, comparando o desempenho do edifício como está, com a solução de referência.

Em relação à iluminação do edifício seria interessante estudar, na mesma altura da proposta anterior (2020), o impacto da substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, pelo facto do preço desta tecnologia estar em queda, do tempo de vida e

da relação lúmen/Watt estarem em constante melhoria, diminuindo o tempo de retorno do investimento para valores interessantes.

Outra proposta de trabalho futuro, que seria interessante explorar, seria a possibilidade de adaptar um sistema de controlo para o piso radiante, que em vez de ser reativo às condições de temperatura do presente, que fosse preditivo. Ou seja, que o sistema fosse capaz de alterar o estado, com base nas previsões do tempo para um ou dois dias seguintes, para solucionar o problema da baixa velocidade de resposta do piso radiante às solicitações do sistema.

Ainda outra proposta, com vista a melhorar a eficiência energética do edifício e que poderá levar a futuros projetos, é o estudo de um sistema de produção de energia renovável local. Pretende-se, com isto, descontar os consumos de energias renováveis aos consumos de energias não-renováveis, de tal forma que o impacto ambiental que o uso do sistema de climatização do edifício acarreta fosse minimizado. Assim, a eficiência energética do edifício aumenta.

No que diz respeito à qualidade do ar interior, foi possível sentir maus odores causados pelos esgotos, em algumas instalações sanitárias e nos laboratórios com lava olhos, lavatórios e balneários, especialmente no laboratório de prototipagem 1.4.6 e no laboratório de materiais 1.4.3. As medidas corretivas para este problema, em particular, terão de incidir primeiramente sobre a canalização do edifício e não sobre a ventilação. Uma proposta de trabalho futuro, no âmbito da Engenharia Civil, é realizar um estudo relativo aos sistemas de esgotos do edifício de forma a encontrar as deficiências que provocam este problema.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- U.S. Department of Energy. (2016). *Active Solar Heating*. Obtido de <http://www.energy.gov/energysaver/active-solar-heating>
- U.S. Department of Energy. (2016). *Energy.gov*. Obtido de <http://energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>
- ADENE. (2016). Obtido de Auditoria Energética: <http://www.adene.pt/textofaqs/auditoria-energetica>
- ADENE. (outubro de 2016). *Eficiência Energética*. Obtido de <http://www.adene.pt/eficiencia-energetica>
- AdePorto. (2016). Obtido de [http://www.adeporto.eu/fotos/editor2/adeporto\\_matriz\\_final.pdf](http://www.adeporto.eu/fotos/editor2/adeporto_matriz_final.pdf)
- Agência Portuguesa do Ambiente. (Janeiro de 2009). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico*. Amadora. Obtido de [https://www.apambiente.pt/\\_zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/manual%20QArInt\\_standard.pdf](https://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/manual%20QArInt_standard.pdf)
- ASHRAE. (2000). Chapter 6, Panel Heating and Cooling. Em *ASHRAE Systems and Equipment Handbook*.
- ASHRAE. (2016). *ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment*. Atlanta.
- Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración. (2010). *Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Bornet Electricite. (2016). Obtido de <http://www.bornet-electricite.ch/V1/images/images/pompe.jpg>
- Celenit, Spa. (maio de 2016). *Wood Wall for Coverings*. Obtido de <http://www.celenit.com/en/products/wood-wool-for-coverings/celenit-ab>
- Chama, Equipamentos Técnicos, S.A. (dezembro de 2013). *Circuitos das Lages Ativas*. Mortágua.

Colaborante. (maio de 2016). *Lage Mista Colaborante*. Obtido de <http://www.colaborante.pt/pdf/FT075.pdf>

Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20/08/2013. (s.d.). *Diário da República*.

Decreto-Lei n.º 79/2006, de 04/04/2006. (s.d.). *Diário da República*, pp. 2416-2417.

Decreto-Lei n.º 80/2006, de 04/04/2006. (s.d.). *Diário da República - I Série-A*, n.º67, pp. 2468-2513.

Decreto-Lei n.º118/98 de 07/05/1998. (s.d.). *Diário da República - I Série A*, p. 2114.

DesignBuilder. (junho de 2016). *DesignBuilder Help - Editing Zone Heated Floor Data*. Obtido de [http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/#Detailed\\_HVAC/Editing\\_Zone\\_Heated\\_Floor.htm%3FTocPath%3DBuilding%2520Models%7CDetailed%2520HVAC%7CHVAC%2520Component%2520Data%7CZone%2520Unit%2520Data%7CHeated%2520Floor%2520Data%7C\\_\\_\\_\\_\\_0](http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/#Detailed_HVAC/Editing_Zone_Heated_Floor.htm%3FTocPath%3DBuilding%2520Models%7CDetailed%2520HVAC%7CHVAC%2520Component%2520Data%7CZone%2520Unit%2520Data%7CHeated%2520Floor%2520Data%7C_____0)

Despacho n.º 15793-F.2013, de 03/12/2013. (s.d.). *Diário da República*.

Despacho n.º 15793-J.2013, de (03/13/2013). (s.d.). *Diário da República*.

Despacho n.º 349-D.2013, de 02/12/2013. (s.d.). *Diário da República - I Série A*.

Direção Geral de Energia e Geologia. (11 de dezembro de 2015). *Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos*. Lisboa.

ENERES. (2010). *Memória Técnica do Sistema de Climatização por Troca Geotérmica, Bomba de Calor Geotérmica e Lajes Termoactivas*.

EqArq - Estrutura de Projeto de Arquitetura e Desenvolvimento Físico. (2012). *Projeto de Execução - Arquitetura*. Aveiro: Universidade de Aveiro.

FIDA. (19 de outubro de 2016). *Reboco Projetado FIDA*. Obtido de <http://www.fida.com.br/index.php/produto/reboco-projetado-fida/>

Galp Energia. (outubro de 2016). *A nossa Energia*. Obtido de <http://www.galpenergia.com/PT/ProdutosServicos/Produtos/Eletricidade/Centro-de-informacao/A-nossa-Energia/Paginas/A-nossa-Energia.aspx>

GPIC, Lda. (2010). *Projeto de Instalações Elétricas, Telecomunicações e Segurança Activa*. Porto.

Healthy Heating. (dezembro de 2016). *Radiant Floor Heating Designs*. Obtido de [http://www.healthyheating.com/Radiant\\_heating\\_designs/radiant\\_floor\\_heating\\_designs.htm](http://www.healthyheating.com/Radiant_heating_designs/radiant_floor_heating_designs.htm)

- Incropera, F. P., Dewitt, P. D., Bergman, L. T., & Lavine, S. A. (2012). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons.
- Kurnitski, J. (2013). Technical definition for nearly zero energy buildings. *REHVA - Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning*. Obtido de <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/rehva-journal/2013/032013/technical-definition-for-nearly-zero-energy-buildings.html>
- Laouadi, A. (2004). Development of a radiant heating and cooling model for building energy. *Elsevier*, pp. 421-431.
- LNEC. (2006). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente - ITE 50*. Lisboa: Divisão de Edições e Artes Gráficas.
- Martin Energetics. (2016). *Use of Ponds and Lakes for Closed Loop heat exchange*. Obtido de <http://www.martinenergetics.com/ponds-and-lakes.html>
- Martins, N. (2014). Sistemas AVAC - As Tecnologias.
- Martins, N. (2015). Conforto Térmico.
- Martins, N. (2015). Métodos de Simulação Dinâmica. Aveiro.
- Monteiro, V. (2016). *Ventilação na Restauração e Hotelaria*. ETEP - Edições Técnicas e Profissionais.
- Mumma, S. (2001). *Designing Dedicated Outdoor Air Systems*. Designing Dedicated Outdoor Air Systems, ASHRAE Journal.
- Oliveira, M. (2015). Gestão de Energia - Auditoria Energética. Aveiro.
- Omer, A. M. (2006). *Ground-source heat pumps systems and applications*. Nottingham.
- Preceram - Indústrias de Construção, S.A. (outubro de 2016). Obtido de <http://www.preceram.pt/>
- Quimiflex. (19 de outubro de 2016). *Ficha Técnica - Argamassa de Roboco Projetado*. Obtido de <http://www.quimiflex.com/qualidade/FTREBOCOPROJETADO.pdf>
- Risueño, M. T. (dezembro de 2007). Ventajas e inconvenientes del suelo radiante en respecto a outros sistemas de calefacción. pp. 58-62.
- Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2016). *Using Ground-Source Heat Pump Systems for Heating/Cooling of Buildings*. InTech. doi:10.5772/61372
- Solar Tribune. (agosto de 2011). Solar Air Collectors. Obtido de <http://solartribune.com/solar-hot-air-panels/>

Watson, R. D., & Chpman, K. S. (2002). *Radiant Heating and Cooling Handbook*. McGraw-Hill.

Yousef Al horr, M. A. (Junho de 2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1-11.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.03.006>

## APÊNDICES

---



# APÊNDICE I – IMPLANTAÇÃO E MARCAÇÃO DA ENVOLVENTE

---

## Implantação:



## Marcação da envolvente:

A Envolvente Exterior (a vermelho) é a que predomina no edifício, em todas as **paredes** e nas caixas de escadas, exceto na porção de parede da Oficina que está em contacto com Sala da Cisterna que, por isso é Envolvente Interior (a amarelo) -

Figura 33. As paredes da Zona Técnica que contém o termoacumulador (omissas da figura), também são Envolvente Interior, pelo facto dessa sala não ser climatizada.

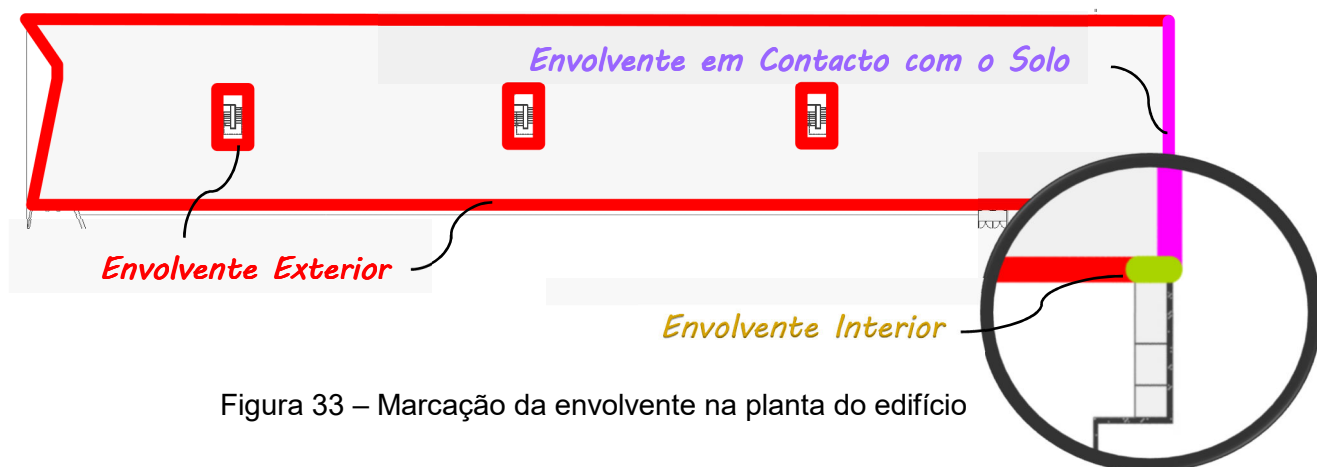


Figura 33 – Marcação da envolvente na planta do edifício

Em relação aos **tetos**, existe Envolvente Exterior, quando não há teto falso, mas apenas o telhado; e Envolvente Interior, quando está presente o *plenum*, que é o espaço formado pelo teto falso e o telhado. Esta situação pode acontecer dentro da mesma sala – Figura 34, na sala do lado direito.

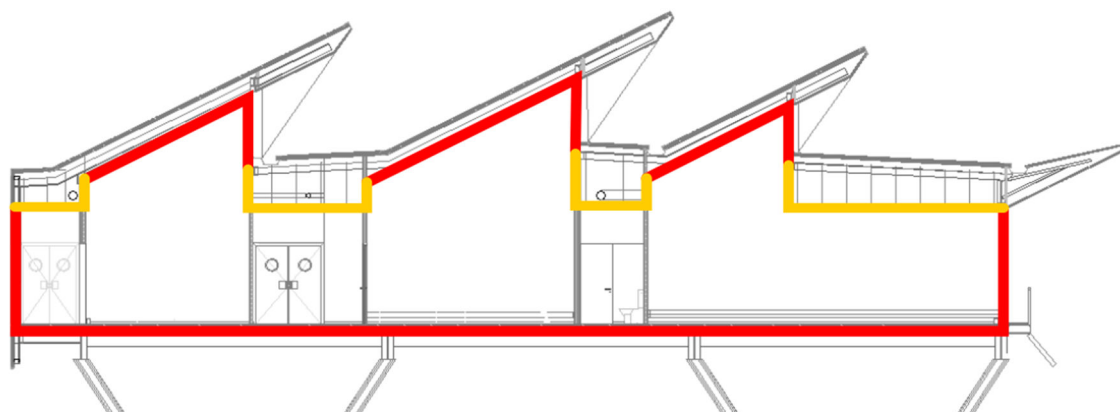


Figura 34 – Marcação da envolvente em corte transversal do edifício, mostrando uma sala com Envolvente Exterior e Interior no mesmo teto

No que diz respeito ao **pavimento**, dado que o edifício é em forma de ponte flutuante, predomina também, a Envolvente Exterior, na parte do edifício que é sustentada pelos pilares-árvore. As transferências de calor pelos pilares não são aqui consideradas. A cor de rosa está assinalada, na Figura 35, a parte da laje que está assente no solo.



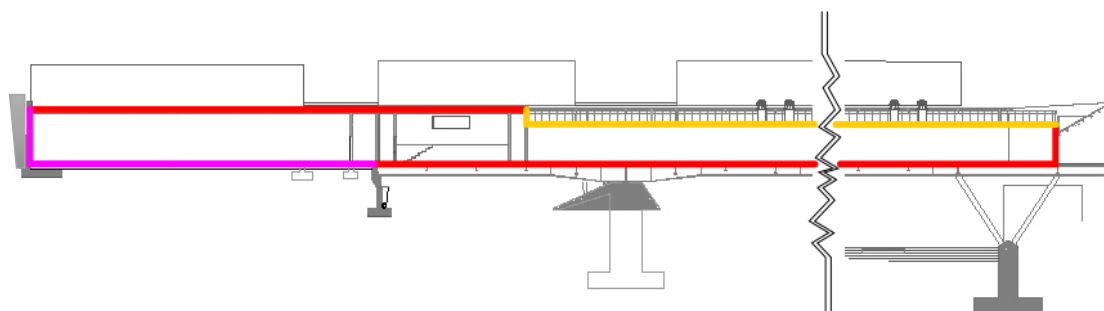


Figura 35 - Marcação da envolvente em corte, mostrando a parte da laje do edifício que está em contacto com o solo e a que está suspensa



## APÊNDICE II – APRESENTAÇÃO DETALHADA DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

---

### 1. ENVOLVENTE OPACA

De forma a facilitar a organização do tema, agrupam-se os tipos de envoltente opaca, de acordo com o Esquema 10 e pela ordem que surgem do lado direito do mesmo.



Esquema 10 – Tipos de envoltente opaca presentes na ESAN

Iniciando a apresentação detalhada das soluções construtivas **exteriores**, “o isolamento de soleiras, fachadas e coberturas realizar-se-á pelo exterior, resolvendo uma envoltente contínua que evite qualquer ponte térmica”, (ENERES, 2010). É incorporado isolamento radiativo para evitar excessos e perdas por radiação.”

#### 1. Exterior/Fachada

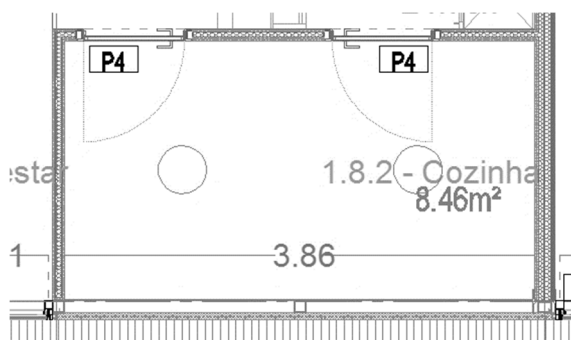
“As fachadas serão realizadas através de uma estrutura portante revestida pelo exterior e pelo interior. O revestimento exterior será feito com painéis *Sandwich* e o

revestimento interior será com placas de *Celenit* pintadas (...)” - (EqArq - Estrutura de Projeto de Arquitetura e Desenvolvimento Físico, 2012).

a) Fachada Sul 1

Elemento	Espessura (mm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Painel <i>Sandwich</i>	60	0.505
Caixa de Ar	100	
Placa de Gesso Cartonado	25	

Da pequena área do edifício que é opaca, esta solução construtiva surge na parede exterior da cozinha.



b) Fachada Sul 2

Elemento	Espessura (mm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Painel <i>Sandwich</i>	60	0.474
Tijolo Vazado	110	
Tijolo Vazado	110	
Reboco Projetado	~10	

Esta solução construtiva surge nas paredes das oficinas 1.4.1 e 1.4.2. Como tal, parte dessas paredes é exterior e parte é interior (porque separa a oficina das zonas técnicas). (Figura 33 – Marcação da envolvente na planta do edifício).

Nos balneários a solução é semelhante, e embora não se veja na planta o reboco projetado, nem existe painel *sandwich* (Figura 36), por uma questão de simplificação, considera-se a mesma solução construtiva, pois tem na mesma o tijolo vazado e trata-se de uma parede de compartimentação interior que não faz parte da envolvente.

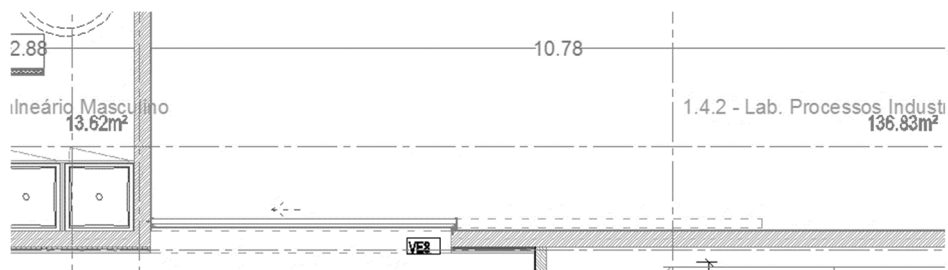


Figura 36 – Pormenor da planta mostrando a parede exterior do balneário e da Oficina 1.4.2

c) Fachada Norte/Sul

Elemento	Espessura (mm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Painel Sandwich	60	0.448
Caixa de Ar	100	
Celenit AB	25	

Esta solução construtiva encontra-se na parede exterior das zonas de circulação.

d) Fachada Oeste

Elemento	Espessura (mm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
EPS leve	60	0.481
Tijolo Vazado	110	
Tijolo Vazado	110	
Caixa de Ar	60	
Celenit ABE	25	

Esta solução construtiva encontra-se na parede Oeste do Bar/Refeitório.

2. Exterior/Cobertura

Elemento	Espessura (mm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Painel Sandwich	100	0.335
Caixa de Ar	445	
Gesso Cartonado	25	

Nas zonas que não têm *plenum*, o teto tem gesso cartonado, com uma caixa de ar que não tem sempre a mesma espessura, mas na maior parte da sua área é de 445 mm. Nas zonas com *plenum*, o espaço entre o teto e a cobertura é maior do que esta caixa de ar e é considerado uma divisão, a nível do modelo, logo não é envolvente exterior.

### 3. Exterior / Piso

Elemento	Espessura (mm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Poliuretano Projetado	20	0.922
Laje de betão <i>Colaborante</i>	200	

Esta solução construtiva faz simultaneamente parte da envolvente exterior (na parte do edifício está em suspensão, que é a maior) e da envolvente em contacto com o solo (no restante edifício). Nesta laje de betão estão incorporados os tubos do piso radiante.

### 4. Interior/*Plenum*

Elemento	Espessura (mm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Placa de Gesso Cartonado	13	3.106

Estas placas de gesso cartonado são envolvente interior, por constituírem as divisórias que separam o *plenum* da sala. No caso das instalações sanitárias e dos balneários, o gesso cartonado é hidrófugo e no caso de algumas salas, como o auditório e a secretaria, as placas são perfuradas.

### 5. Interior/Zona Técnica

Igual à Fachada Sul 2.

### 6. Parede em Contacto com o Solo/Oficinas

Elemento	Espessura (mm)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Muro de contenção de betão armado	350	2.887
Reboco projetado	~10	

### 7. Piso em contacto com o Solo

Igual a 3. Exterior / Piso. Apesar de não ter o poliuretano projetado, por estar em contacto com o solo, este funciona como isolante, podendo-se considerar o mesmo material para as duas superfícies.

Materiais:

**Painel *Sandwich* Revestido a Alumínio** - Aparece nas espessuras de 40, 60 e 100mm. Dado que não há mais informações sobre a constituição do material, foi selecionado um dos poliuretanos da base de dados do *DesignBuilder*, que tivesse a densidade dentro do que está nos dados do ITE 50, e alterado o valor da condutividade ( $\lambda$ ) para 0.037 W/m-K, valor também do ITE 50 (LNEC, 2006).

**Celenit AB/ABE** – É um material compósito cuja matriz é cimento Portland e o material de reforço é lã de madeira com 1mm de espessura, que é utilizado como revestimento interior nas zonas de circulação e no bar. Da ficha técnica dos materiais (Celenit, Spa., 2016),  $R=0.35 \text{ m}^2.\text{K/W}$  (AB) e  $R=0.30 \text{ m}^2.\text{K/W}$  (ABE), ambos em placas com 25mm de espessura.

**Tijolo Vazado** – É um tipo de tijolo que possui aberturas e que tem uma melhor performance que a versão maciça dos tijolos, por conter ar no interior, que dificulta a transferência de calor. Foi usado da base de dados o “*Brick – aerated*” com uma densidade de  $1000 \text{ kg/m}^3$  e um  $\lambda=0.3 \text{ W/m.K}$ . De acordo com (Preceram - Indústrias de Construção, S.A., 2016), um tijolo tradicional tem um  $R=0.29 \text{ m}^2.\text{K/W}$  e  $670 \text{ kg/m}^3$ . Contudo este valor é bastante inferior aos  $1000 \text{ kg/m}^3$ , mas não tem em conta a argamassa e dos tijolos era a opção da base de dados com a menor massa volúmica.

**Reboco Projetado** – É um acabamento que é usado nas paredes das oficinas da ESAN. Foi considerada a espessura de 10 mm, de acordo com (Quimiflex, 2016) e (FIDA, 2016). Foi usado o material “*Cement/Plaster/Mortar – Cement Plaster*” ( $\lambda=0.720 \text{ W/m.K}$ ,  $\rho=1760 \text{ kg/m}^3$ ) presente na base de dados.

**Sistema Capotto** – Surge na parede Oeste do edifício, na Zona de Estar do Bar. O sistema é conhecido vulgarmente pela designação comercial, no entanto o nome correto seria *External Thermal Insulation Composite Systems* (ou ETICS). É um sistema porque é um produto composto por uma camada de EPS, coberta dos dois lados por material aderente. De um dos lados, o sistema é colado à parte exterior da parede e o outro lado tem uma rede de fibra de vidro e o acabamento da parte exterior. A vantagem de usar este tipo de sistema é eliminar as pontes térmicas, ao criar uma barreira isoladora contínua na parte de fora do edifício e, ainda, ter uma melhor performance térmica com uma espessura diminuída.

Apesar de não ser mencionado nem nenhuma parte do projeto do edifício, existe o registo fotográfico da parede em construção (Figura 37 – Parede Oeste da ESAN em construção), que mostra efetivamente uma parede em tijolo. Quanto à espessura da parede, a medida da planta mostra uma espessura do ETICS de 6cm e uma espessura de 24 cm, que sugere a possibilidade de serem duas camadas de tijolos vazados de 110 mm, como nas oficinas. Não havendo dados sobre os valores do ETICS completo, mas apenas de cada material que o constitui, aproxima-se o sistema a uma camada de EPS *lightweight* (leve) de 6 cm ( $\lambda=0.046 \text{ W/m.K}$ ,  $\rho=10 \text{ kg/m}^3$ ).



Figura 37 – Parede Oeste da ESAN em construção

**Laje de Betão Colaborante** – Esta laje é mista, pois é composta por um perfil de chapa galvanizada, que fica voltada para o exterior e betão. O betão tem a densidade de  $2400 \text{ kg/m}^3$  (Colaborante, 2016) e dado que a espessura da chapa não é conhecida, considerou-se apenas a espessura de betão no modelo, que é muito maior de a da chapa. Escolheu-se um betão armado do catálogo do *DesignBuilder* com essa massa volúmica.

**Poliuretano projetado** – É o material que cobre a laje de betão. Ao invés de ser usadas placas, devido à geometria do perfil de chapa ser ondulado, a solução óbvia é projetar espuma de poliuretano à máquina, que solidifica, obtendo uma camada com uma espessura média de 20mm, que fica com uma superfície bastante rugosa e ondulada. Na Figura 37 ainda é possível ver a viga por baixo da varanda coberta com o material recentemente aplicado e antes de ser pintado de preto.

**Betão Armado** – Este material constitui o muro de contenção, que ao mesmo tempo é uma parede em contacto com o solo, situado no lado Este do edifício.

## 2. ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

São apresentados no Quadro 1 os vidros que compõem a envolvente envidraçada da ESAN, do exterior para o interior.



### Quadro 1 – Vidros pertencentes à envolvente exterior

<b>Fachadas S / N / Cobertura</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Alumínio Navarra "Fachada N15000 VEP"<ul style="list-style-type: none"><li>• Laminado Incolor Saint-Gobain Planilux 5+5mm+PVB 0.38mm (4+4mm na Cobertura)</li><li>• Caixa de Ar 12mm</li><li>• Planitherm Temperado 8mm + Capa Planitherm Ultra NII</li></ul></li><li>• [Fator Solar G= 0.55; UG= 1.64 W/m<sup>2</sup>/K]</li></ul>
<b>Caixas de Escadas</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Alumínio SAPA Thermo 74Ei<ul style="list-style-type: none"><li>• Vidro refletante incolor temperado 4mm</li><li>• Caixa de Ar 10mm</li><li>• Vidro corta fogo E30 16mm</li></ul></li></ul>
<b>Túneis de Luz</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Lightway Crystal HP400</li><li>• Diâmetro= 32 cm</li><li>• Intensidade Luminosa Verão= 440/320 lux (céu limpo/encoberto)</li><li>• Intensidade Luminosa Inverno= 190/120 lux (céu limpo/encoberto)</li></ul>

Geralmente o vidro de maior espessura é montado do lado de fora, por uma questão de melhorar o desempenho ótico do vidro e do isolamento acústico. O vidro interior é o **temperado**, por uma questão de proteção dos ocupantes do edifício (mais duro, resistente ao calor e fragmenta-se em pedaços pequenos e menos perigosos) e o exterior é o laminado, para dificultar a intrusão, a partir do exterior. Outro indício de que esta é a orientação correta dos vidros é a aplicação da capa de baixa emissividade pelo interior (especificações no Anexo VIII), na esperança de diminuir as perdas de calor por radiação, durante o período noturno, sobretudo de Inverno.

Os **vidros laminados** são, como o nome sugere, compostos por duas ou mais lâminas de vidro intercaladas com uma película de Polivinil Butiral (ou PVB), que é um material polimérico tenaz e dúctil, que irá segurar os fragmentos do vidro em caso de rutura, proporcionando uma maior segurança, por diminuir o risco de cortes. A designação dos vidros laminados "5.5.1", refere-se a um vidro com duas lâminas de vidro de 5mm juntas por película de 0.38mm, standard.

Ainda pertencente à envolvente envidraçada, estão presentes no edifício 15 **túneis de luz** Lightway Crystal HP400 (Figura 38), que permitem uma entrada de luz natural através do *plenum*.



Figura 38 - Túneis de luz Lightway Crystal em corte (lightway.cz)

Os **vidros corta fogo** (Quadro 2) têm a designação E30, porque se refere ao tempo em minutos que o vidro resiste em contacto com o fogo sem romper; neste caso 30 minutos.

#### Quadro 2 – Vidros interiores não pertencentes à envolvente do edifício

##### Vidros Interiores

- Vidro temperado genérico 12 mm

##### Vidros Interiores corta-fogo

- Vidro corta-fogo CF 30 Schott Pyran S 5mm

# APÊNDICE III – APRESENTAÇÃO DETALHADA DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS

## 1. SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

O sistema de climatização está dividido em três setores, como mostrado na Figura 39. Cada setor é climatizado pelos equipamentos no Anexo VI e controlado de forma independente. É de notar que pelo facto da área a climatizar do setor 3 (a verde) ser maior que as áreas dos restantes setores, também a bomba geotérmica desse setor é mais potente e tem mais uma UTA do que os restantes setores.

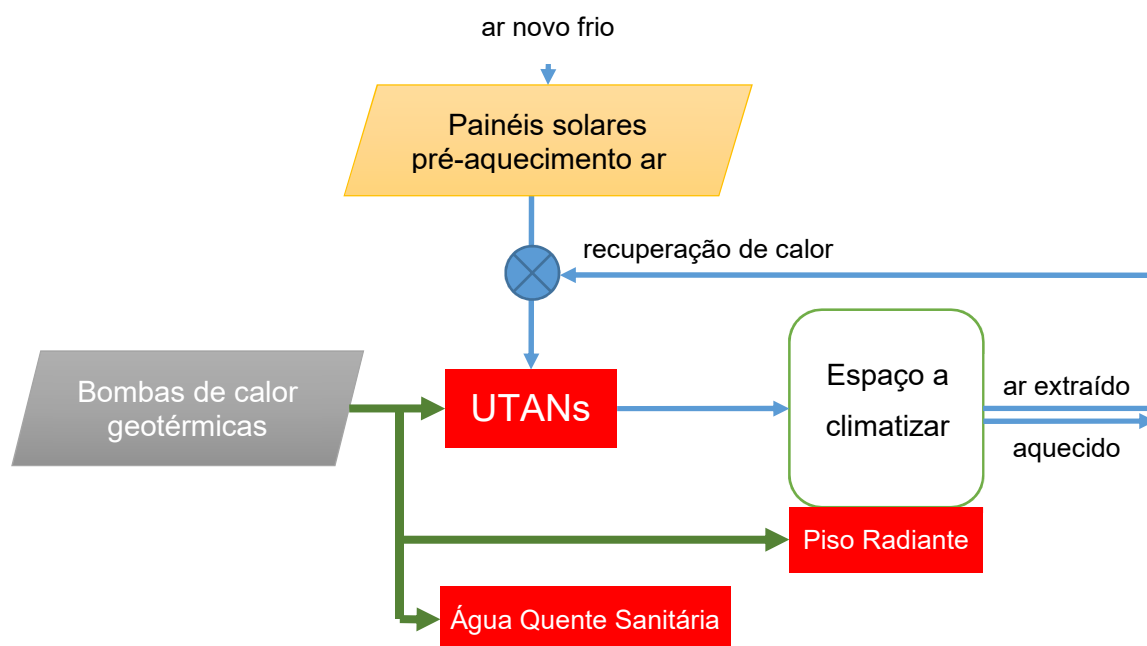


Figura 39 – Planta do edifício, mostrando os setores climatizados e os bastidores

Em primeiro lugar, nos **bastidores** (a azul, na Figura 39), a climatização é garantida por dois **aparelhos de ar condicionado murais**, que apenas arrefecem, cujo ponto de ajuste está definido para 20°C.

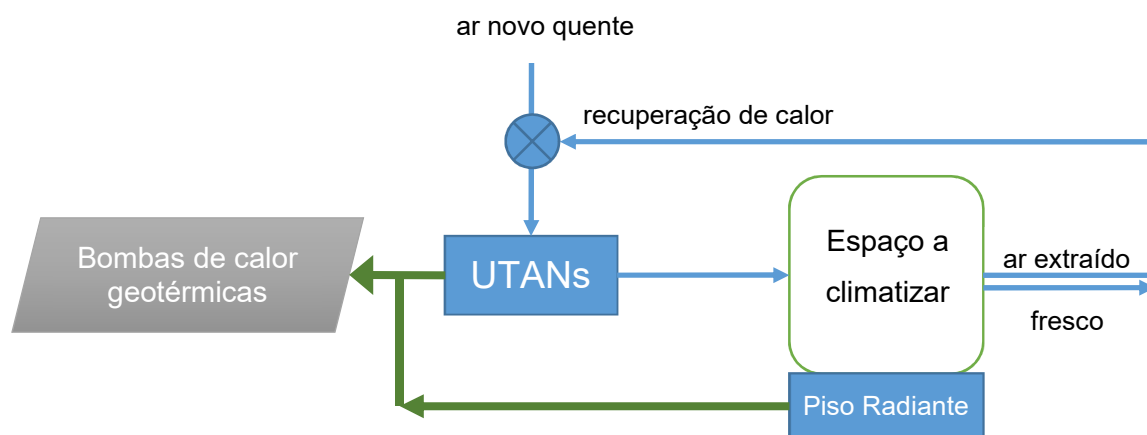
Já o **resto do edifício**, é climatizado por um sistema complexo, que pretende otimizar o consumo energético aliando ao sistema de climatização ativo do edifício à própria construção, tornando-o por si só, também, um sistema passivo, que será explicado adiante.

Tanto o aquecimento, como a refrigeração **ativas** e, ainda, o sistema de produção de AQS, são promovidos por um sistema geotérmico (Esquema 11), aliado à ventilação e a um piso radiante a baixa temperatura e com elevada inércia térmica.



Esquema 11 – Esquema do fluxo do Ar no sistema de ventilação (azul) e fluxo de calor no circuito de Água (verde) no Inverno

No caso do sistema geotérmico estar a arrefecer, já não é possível contar com ele para a produção de água quente sanitária, pois estará a retirar calor para o solo (Esquema 12) e a válvula fecha para isolar o circuito da AQS do circuito geotérmico.



Esquema 12 - Esquema do fluxo do Ar no sistema de ventilação (azul) e fluxo de calor no circuito de Água (verde) no Verão

O **piso radiante** está presente por todo o edifício, exceto nas instalações sanitárias, nos banheiros e nas zonas técnicas. Os setores 1 e 2 possuem 3 coletores cada e o setor 3, de maior área, tem 6 coletores (Figura 40). Cada coletor divide o caudal de água aquecida por entre 8 a 12 circuitos que estão dispostos pela laje de betão do edifício.

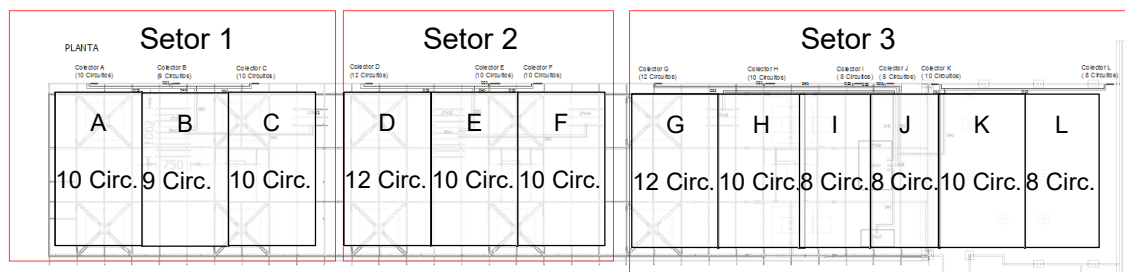


Figura 40 – Disposição dos circuitos hidrônicos em cada setor geotérmico

No caso de as bombas de calor geotérmicas estarem a recolher calor do subsolo (aquecer no Inverno), podem também, pré-aquecer a água quente sanitária (AQS) por meio de permutadores de calor que estão instalados no tanque de água quente sanitária, caso o rendimento dos painéis solares de AQS seja insuficiente nesse dia. O mesmo sistema é invertível, sendo o piso radiante, um dispositivo para capturar o calor, que é transportado pela água até às bombas de calor, que o dissipam no subsolo. Os modos de aquecimento e arrefecimento são mostrados no Apêndice III.

Quanto à **ventilação**, o ar é tratado por 7 unidades de tratamento de ar (UTAs), das quais 3 pertencem ao setor maior e as restantes 4 são divididas pelos setores menores. As UTAs contêm uma bateria de frio/quente, que recebe água proveniente do sistema geotérmico, que foi aquecida ou arrefecida. Para além dessas funções, as UTAs dispõem de filtros F5 e F9 para proteger o equipamento e melhorar a qualidade do ar que é insuflado. O ar é insuflado, sobretudo, por caixas de metal (Figura 41, à esquerda), que estão localizadas junto aos rodapés da maioria das salas e corredores e é extraído por grelhas de retorno (Figura 42, à esquerda) colocadas no lado oposto ao lado de insuflação. A grelha de insuflação embutida DIR é usada no auditório e a grelha de canto DVC é usada nas Oficinas. No caso das instalações sanitárias, o ar não é insuflado, mas apenas extraído por válvulas de extração (Figura 42, à direita).

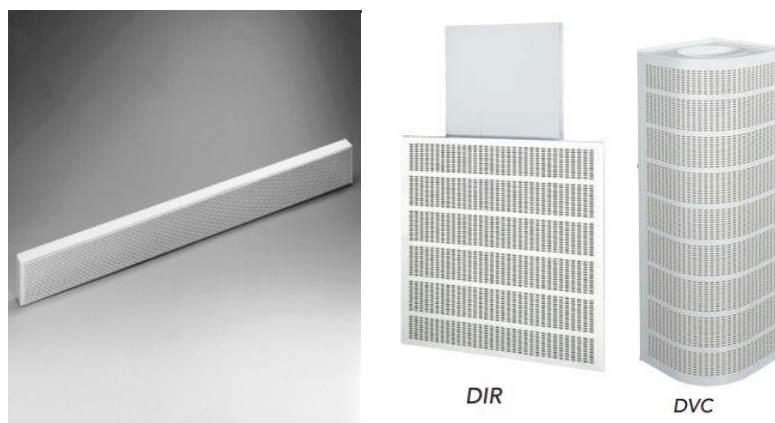


Figura 41 - Grelhas de insuflação: Krantz Q-S, France-Air DIR e DVC (Krantz e France-Air)

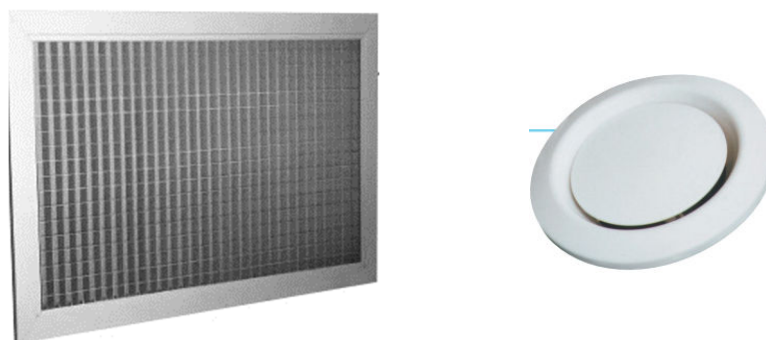


Figura 42 - Grelha de extração: France-Air GAV 88; Válvula de extração: Australe 100 (France-Air)

No **verão**, o ar é aspirado ao nível do solo por estar, em média, a menos 15°C que na cobertura do edifício (Figura 43). Já no **inverno**, o ar é pré-aquecido pelos painéis solares montados na fachada do edifício (Figura 44), que captam a radiação solar direta do sol e, também a difusa, refletida pela envolvente. Para além disso, estão montados sensores de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O para monitorizar a qualidade do ar interior (QAI) e abrir os registos da UTAs para renovação do ar, quando a QAI diminuir. Isto é necessário, pois o edifício é bastante estanque e o ar interior é recirculado, o que significa que esse ar passa por um sistema de recuperação do calor, que **pré-aquece** o ar novo que é introduzido no edifício (apenas quando necessário), recuperando parcialmente (60-70%) a energia que foi despendida para climatizar o ar que ficou viciado.

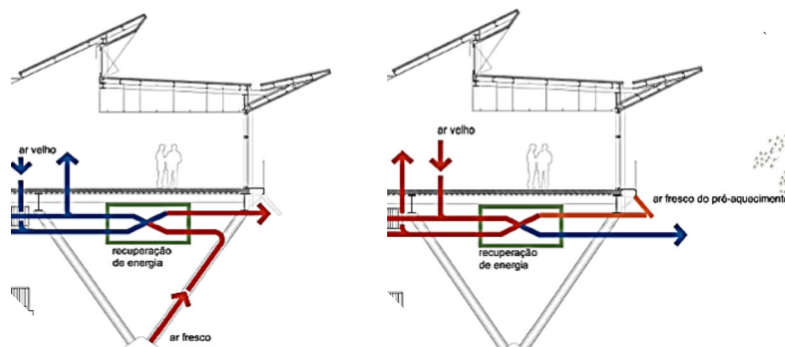


Figura 43 – Insuflação de ar no verão e no inverno, respetivamente. (Imagem retirada da consultoria energética ENERES)



Figura 44 – Painéis solares da fachada do edifício

Em conjunto com os sistemas ativos, o próprio edifício é um **sistema de climatização passivo**, que utiliza estratégias de funcionamento definidas no sistema de controlo (Anexo VI) para regular a temperatura interior, regulando o contacto deste com a envolvente.

No quesito do aquecimento passivo, pode-se considerar que a grande quantidade de envidraçados, em conjunto com os elementos de sombreamento (as palas exteriores) são aquecedores passivos do edifício, pela sua grande eficácia, pelo menos nas salas orientadas a sul (ENERES, 2010).

Sobre arrefecimento passivo, é dito no projeto de eficiência (ENERES, 2010) que era previsto o edifício dispor de um sistema de controlo das janelas, que as abre, de noite no Verão, promovendo um fluxo de ar entre as fachadas Norte e Sul, que evacua o calor em excesso, como se pode ver na Figura 45. Para além disso, também o sistema de ventilação deve funcionar ao máximo para ajudar a expulsar o calor do interior do edifício, durante a noite, sendo essa uma das estratégias de controlo do edifício (Anexo VI).



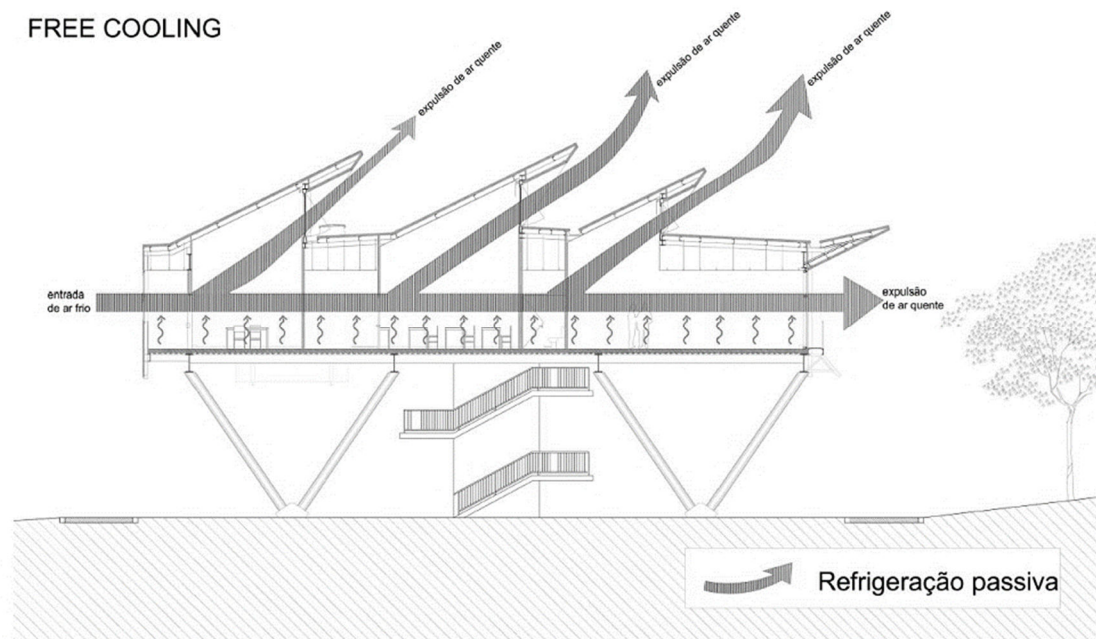
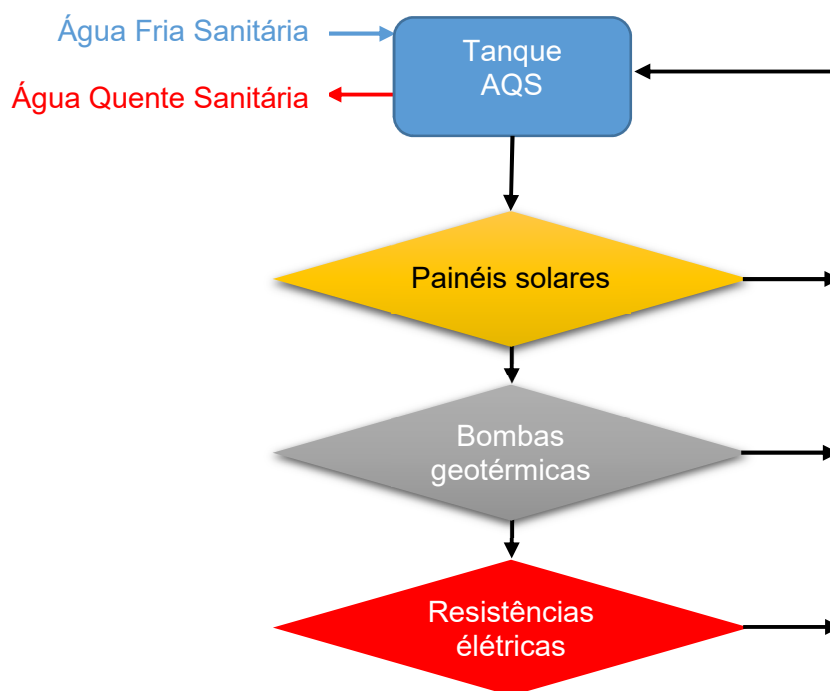


Figura 45 - Refrigeração passiva, (ENERES, 2010)

## 2. ÁGUA QUENTE SANITÁRIA

A produção de água quente sanitária utiliza sobretudo energia solar, gratuita, sendo auxiliada por energia elétrica e geotermia em dias que a radiação solar não seja suficiente (Esquema 13). O sistema é “constituído por 3 Coletores Solares planos de absorvedor seletivo (Figura 46), com a área útil individual de 2,327m<sup>2</sup>, colocados na cobertura do edifício, com azimute aproximado de 154°, isto é, aproximadamente SSE e com a inclinação de 35°”, (ENERES, 2010). É ainda referido que, “Os painéis de captação para aquecimento de água são os mesmos que para aquecimento do ar com um permutador especial, e serão colocados na fachada Sul, integrados na fachada” (Figura 44).





Esquema 13 - Resumo do método de produção de água quente sanitária

A água aquecida é, então, armazenada num termoacumulador de 300 litros, situado na sala técnica 1.12.6, ao lado dos balneários que estão perto das oficinas. Esse termoacumulador dispõe de resistências elétricas com potências mínima e máxima de 26 e 44 kW, respetivamente.



Figura 46 – Painéis solares para aquecimento de água

Faz parte ainda do sistema um dissipador de calor que impede a temperatura da água de subir para além dos 90°C, que pode acontecer no Verão, especialmente nos períodos de férias, em que o edifício não é utilizado.

### 3. EQUIPAMENTOS

No que diz respeito a equipamentos, o inventário é bastante variado. Existem, por exemplo projetores na maioria das salas de aulas, computadores de secretária nas salas de aulas centrais e nos gabinetes, equipamento informático de rede nos bastidores. Falando de equipamento de elevada potência, este está sobretudo nas oficinas 1.4.1 e 1.4.2 (Laboratórios de Processos Industriais 1 e 2), com máquinas fabris, com uma utilização mais pontual (aulas e outros usos), e estufas/fornos que estão em funcionamento por períodos alargados, mesmo durante a noite. Para além destes, pode-se ainda referir as impressoras 3D para prototipagem, que necessitam estar ligadas durante vários dias, produzindo uma quantidade bastante significativa, enquanto fundem ou sinterizam o material que constitui os protótipos. Estas máquinas estão todas presentes na sala 1.4.7, que é o Laboratório de Prototipagem, que está localizado na fachada a sul, a meio do edifício, tendo também uma exposição solar elevada. A nível de equipamentos de consumo médio, mas ainda significativo, quer pela potência, quer pelo tempo de utilização podem-se referir os equipamentos de laboratório da sala 1.3.1 (sala 1), do Laboratório de Materiais (1.4.3) e, também, do Bar e da respetiva área de apoio.

### 4. ILUMINAÇÃO INTERIOR

A iluminação interior é feita com recurso a **lâmpadas fluorescentes T5**, que têm uma melhor relação preço/economia/duração, que as primeiras lâmpadas T8, com a mesma tecnologia. Excecionalmente são usadas fluorescentes não-tubulares. Estas lâmpadas estão associadas a **balastros**, que no caso, são sempre **eletrónicos**, que são o padrão atual. Os balastros deste tipo distinguem-se dos ferromagnéticos, pela ausência de ruído, pela eficiência energética superior, por dispensarem os tradicionais arrancadores e pelo facto das luzes não piscarem quando se liga o interruptor.

Pormenorizando, existem lâmpadas montadas no teto, tanto suspensas como embutidas (Figura 47, à esquerda), de acordo com o especificado no projeto de iluminação (GPIC, Lda., 2010). Para além dessas, estão montadas lâmpadas fluorescentes compactas, sem balastro integrado em luminárias que estão montadas em paredes (Figura 47, à direita).



Figura 47 – À esquerda, biblioteca com lâmpadas T5 embutidas e suspensas. À direita, refeitório com lâmpadas fluorescentes montadas na parede (página Facebook da ESAN)

Quanto ao controlo da iluminação, são usados três métodos diferentes:

- **automático:** nas zonas de circulação;
- **manual:** nos gabinetes, laboratórios;
- **automático com sensor de presença:** nas instalações sanitárias.

## 5. ILUMINAÇÃO EXTERIOR

A iluminação exterior é garantida por lâmpadas fluorescentes compactas, tal como no interior, mas com a particularidade de estarem integradas nas paredes. São controladas por um sistema automático que as liga/desliga conforme a intensidade de luz.



## ANEXO I – TABELA I07 (RECS)

Tabela. I.07 - Soluções de referência a considerar na determinação do IEE<sub>ref</sub> para os métodos de previsão, sendo que todas as demais características e soluções do edifício não especificadas na tabela devem ser iguais às utilizadas na determinação do IEE<sub>pr</sub>.

Tipo de elemento / solução	Soluções de referência a considerar
Envolvente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos constantes da Tabela I.09, obtidos mediante alteração da espessura do isolamento previsto na solução construtiva, sendo que, no caso de não estar previsto isolamento, a solução de referência deverá considerar a aplicação desse isolamento ou uma outra solução construtiva, desde que em ambos os casos se mantenha a inércia do edifício;</li> <li>- Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência para envidraçados constantes da Tabela I.09;</li> <li>- Área de vão envidraçado igual a 30% (1) da área de fachada e 0% nas coberturas;</li> <li>- Fator solar dos vãos envidraçados de referência constantes da Tabela I.10;</li> <li>- Coeficiente de absorção da radiação solar da envolvente opaca, <math>\alpha=0,4</math>. Nota: (1) nas situações em que o edifício tenha uma área de vãos envidraçados inferior ao valor definido, pode a solução de referência considerar esse mesmo valor.</li> </ul>
Aquecimento e/ou arrefecimento ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nas situações em que exista ou esteja prevista a instalação de sistema(s) para aquecimento e para arrefecimento ambiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) No caso de produção de aquecimento com recurso a bomba de calor, considerar bomba de calor do tipo chiller de compressão com permuta exterior a ar, com o valor da eficiência igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.17 para o efeito (outros sistemas);</li> <li>b) No caso de produção de aquecimento com recurso a caldeira, considerar o valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.19 para o efeito;</li> <li>c) No caso de produção de arrefecimento, considerar chiller de compressão com permuta exterior a ar, com o valor da eficiência igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.17 para o efeito (outros sistemas).</li> </ul> </li> <li>- Caso não exista ou não esteja previsto instalar uma ou ambas as funções (aquecimento e arrefecimento), considerar que o edifício dispõe</li> </ul>

	<p>de sistema para essa(s) função(ões), aplicando-se o disposto nas alíneas a) e/ou c) anteriores para a função não existente ou não prevista;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No caso de um edifício híbrido ou passivo, que disponha de sistema(s) de climatização, a temperatura interior deve considerar-se compreendida no intervalo de 20°C a 25°C, inclusive.</li> <li>- Ausência de sistemas de arrefecimento gratuito, de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na climatização.</li> </ul>
Ventilação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerar os valores de caudal de ar novo por espaço determinados pelo método prescritivo e utilização de um sistema de ventilação exclusivamente mecânico, com uma eficácia de ventilação de 0,8;</li> <li>- Caso estejam instalados ou prevista a instalação de ventiladores de extração e de insuflação associados à ventilação das áreas climatizadas ou a unidades de tratamento de ar (UTA e UTAN), considerar valores de eficiência (potência específica, SFP) iguais ao limite inferior (mais eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.21 para o efeito;</li> <li>- No caso de espaços com a existência predominante (mais de 75%) de materiais de baixa emissão poluente, o caudal de referência deve ser o correspondente à situação do edifício sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos;</li> <li>- Ausência de sistemas de arrefecimento gratuito, de recuperação de calor, de caudal de ar variável ou outras soluções de eficiência energética na climatização.</li> </ul>
Água quente sanitária e de piscinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No caso de sistemas com recurso a equipamentos de queima de combustível, o valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável para caldeira(s) e definido na Tabela I.19 para o efeito (outros sistemas);</li> <li>- No caso de sistemas com recurso a bomba(s) de calor, um valor de COP igual a 2,8 de acordo com a EN16147;</li> <li>- No caso de sistemas com recurso a termoacumulador elétrico, um valor de eficiência igual a 0,95;</li> <li>- Ausência de sistemas de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na AQS.</li> </ul>
Iluminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidade de potência de iluminação correspondente ao requisito mínimo aplicável, sem sistemas de controlo por ocupação ou por disponibilidade de luz natural e definido na Tabela I.28 para o efeito;</li> <li>- Caso estejam previstos (em edifícios novos) níveis de iluminância inferiores aos estabelecidos na Norma EN 12464-1, esses valores deverão ser considerados para o cálculo dos valores de densidade de potência de iluminação de referência.</li> <li>- Ausência de sistemas de controlo da iluminação em função da ocupação, da luz natural ou outras soluções de eficiência energética na iluminação.</li> </ul>
Energias Renováveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inexistência de qualquer sistema de energias renováveis instalado.</li> </ul>

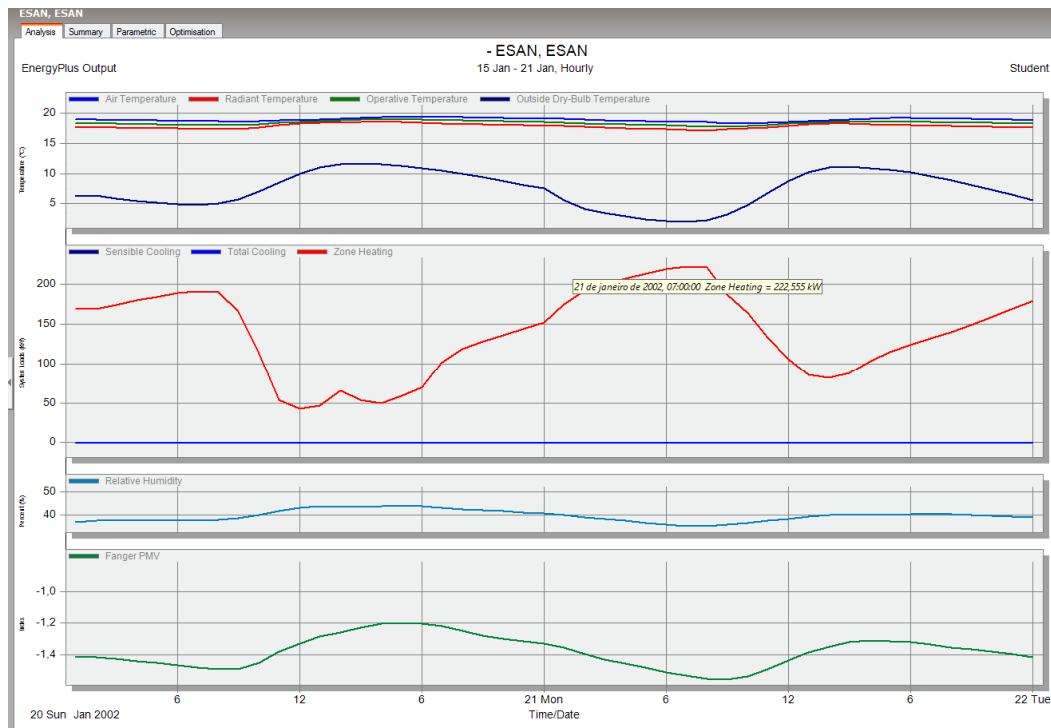
## ANEXO II – DENSIDADE DE OCUPAÇÃO/EQUIP./ILUM.

		Ocupação (pessoas/m²)	Equipamento (W/m²)	Iluminação (W/m²)
1.1.3	Portaria	0,261	15	13,4
1.1.4	Secretaria	0,057	6,9	9,8
1.1.5	Apoio Secretaria			
Zona Auditório				
1.2.1	Sala Principal	0,241	7,0	7,0
1.2.2	Cabine de Projecção	0,055	8,5	8,5
Zona Salas Aula				
1.3.1	Sala 1	0,153	15	11,8
1.3.2	Sala 2	0,000	0	9,8
1.3.3	Sala 3	0,109	20	9,3
1.3.4	Sala 4			
1.3.5	CET 1	0,553	6,28	7,8
1.3.6	CET 2	0,334	3,34	10,3
1.3.7	CET 3	0,201	8,36	10,3
1.3.8	CET 4	0,578	6,28	7,8
1.3.9	Sala 5	0,326	20	9,3
1.3.10	Sala 6			
1.3.11	Sala 7	0,451	20	9,3
1.3.12	Sala 8			
1.3.13	Sala 9	0,451	20	9,3
1.3.14	Sala 10			
1.3.15	Sala 11	0,389	2,63	9,7
1.3.16	Sala 12			
Zona Labs				
1.4.1	Lab. Processos Industriais 1	0,107	85	8,8
1.4.2	Lab. Processos Industriais 2	0,219	80	9,0
1.4.3	Lab. Materiais	0,297	55	9,2

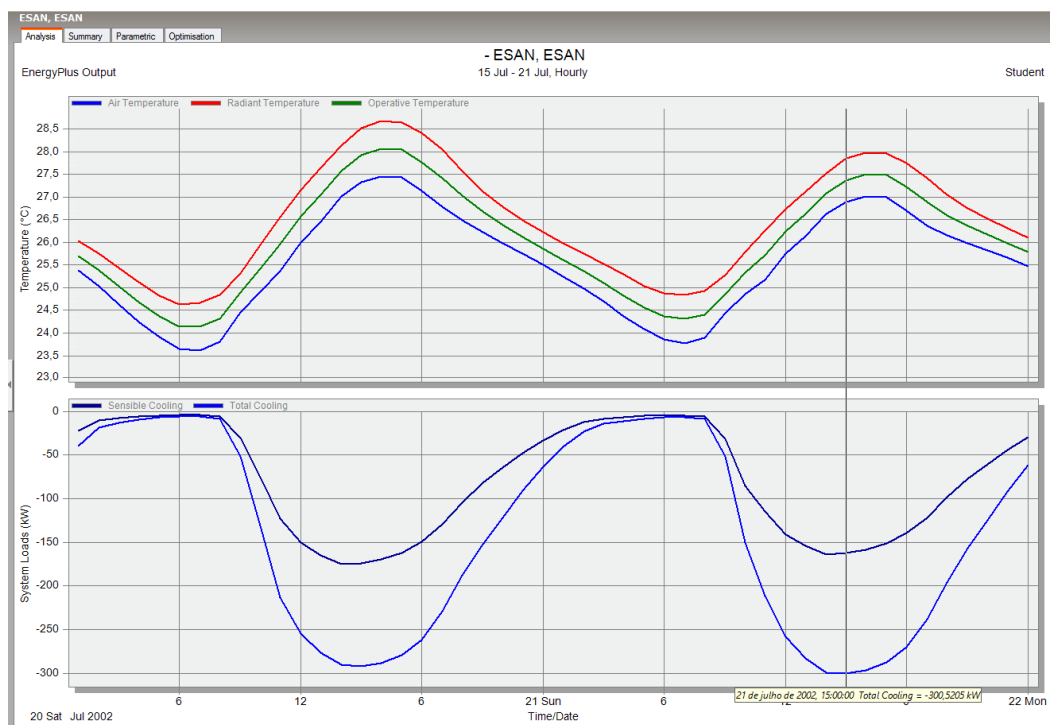
1.4.4	Lab. Instrumentação	0,238	2,37	9,2
1.4.5	Oficina de Mecatrónica 1	0,238	21,4	9,2
1.4.6	Oficina de Modelagem e Prototipagem 1	0,222	30,0	8,9
1.4.7	Oficina de Modelagem e Prototipagem 2	0,222	99,3	8,9
1.4.8	Oficina de Mecatrónica 2	0,303	2,37	9,2
Zona Bibl				
1.5.1	Leitura Informal	0,157	12,1	10,1
Zona Direcção				
1.6.1	Sala da Direcção	0,098	3,68	10,1
1.6.2	Sala de Reuniões	0,280	3,01	10,8
1.6.3	Gabinete	0	0	6,4
Zona Gabin.				
1.7.1	Gabinete 1	0	0	9,4
1.7.2	Gabinete 2	0,061	6,20	9,4
1.7.3	Gabinete 3	0,125	5,00	9,4
1.7.4	Gabinete 4			
1.7.5	Gabinete 5	0	5,00	9,4
1.7.6	Gabinete 6	0,186	5,00	6,4
1.7.7	Gabinete 7			
1.7.8	Gabinete 8			
1.7.9	Gabinete 9			
1.7.10	Gabinete 10			
1.7.11	Gabinete 11			
1.7.12	Gabinete 12	0,124	5,00	6,4
1.7.13	Gabinete 13			
1.7.14	Gabinete 14			
1.7.15	Gabinete 15	0	0	6,4
1.7.16	Gabinete 16			
Zona Bar/Cafet.				
1.8.2	Cozinha	0,118	30,0	12,2
1.8.3	Arrumos	0,123	15,0	12,7
Corredores				
Circulação 1	(setor 3)	0,100	0	6,9
Circulação 2	(setores 1 e 2)	0,100	0	6,9



## ANEXO III– NECESSIDADES DE AQUEC. E ARREFEC.

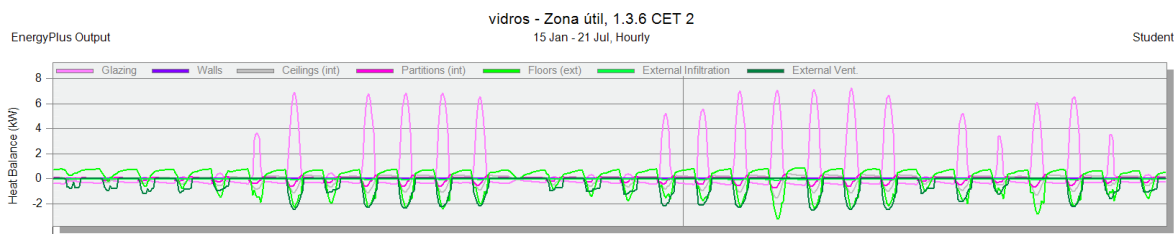


Potência máxima de aquecimento (dia mais frio do ano)

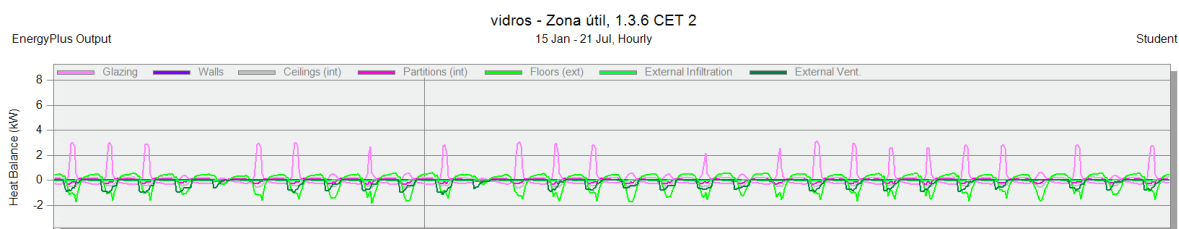


Potência máxima de arrefecimento (dia mais quente do ano)

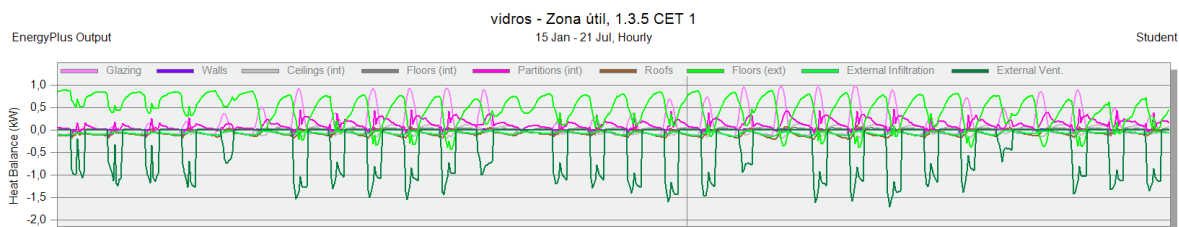
## ANEXO IV– GANHOS ENVIDRAÇADOS (CET 1 E 2)



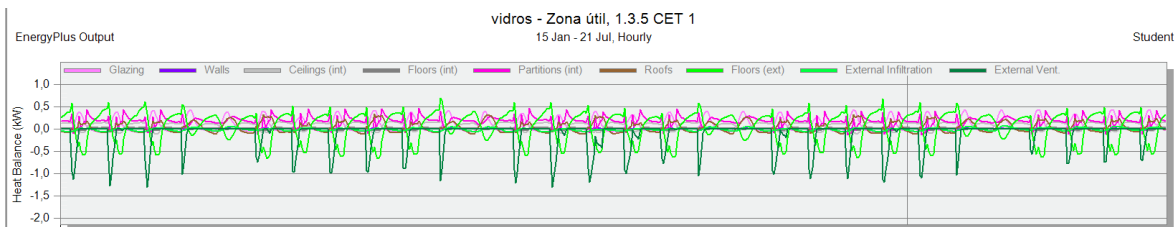
Ganhos mês de fevereiro Sala CET2 (max: ~7 kW)



Ganhos mês de junho Sala CET2 (max: ~3 kW)

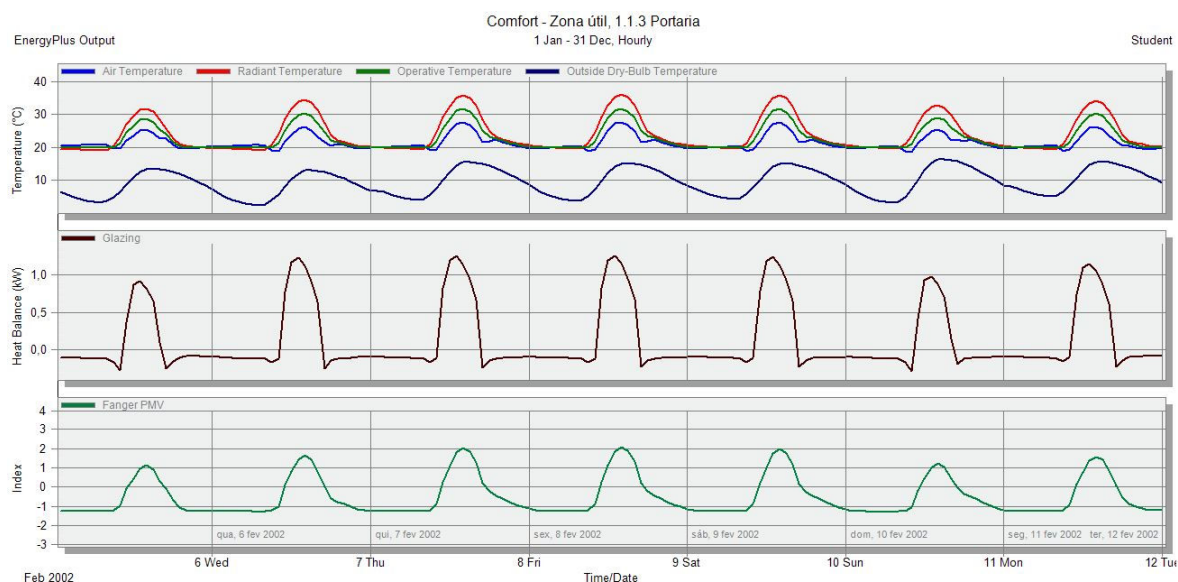


Ganhos mês de fevereiro Sala CET1 (max: ~1,0 kW)

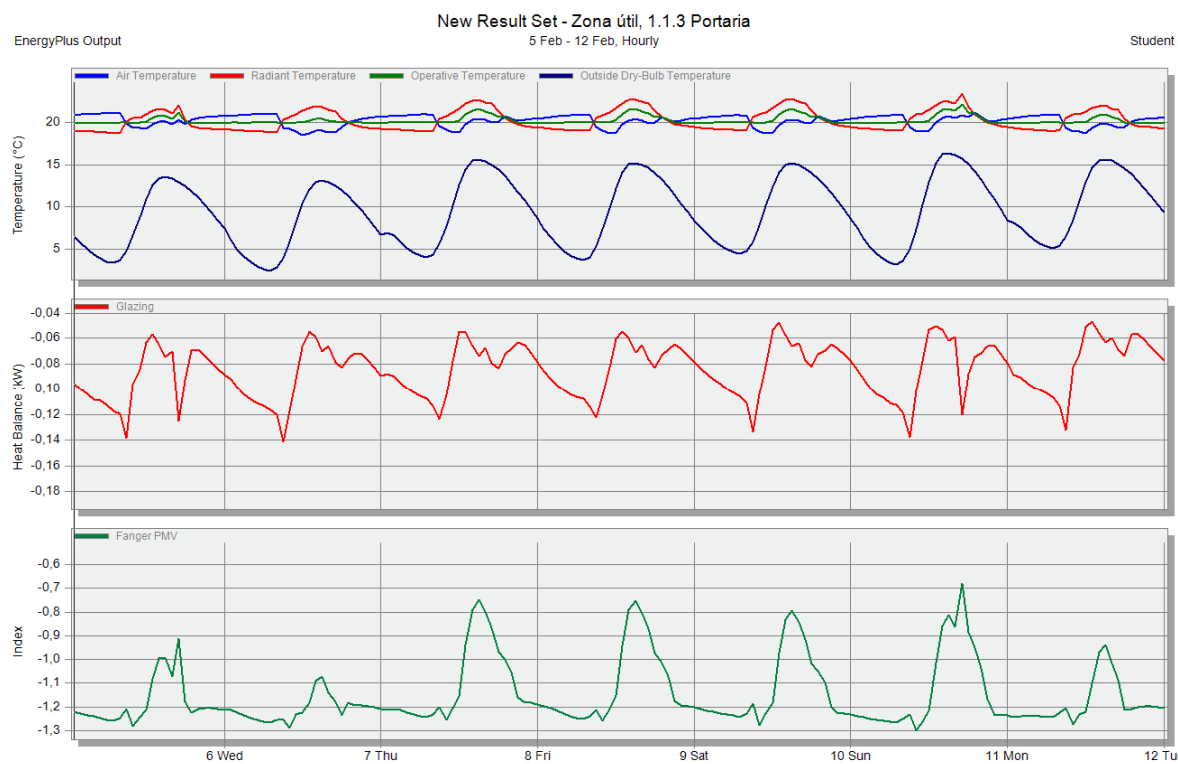


Ganhos mês de junho Sala CET1 (max: <0,5kW)

## ANEXO V– GRÁFICOS CONFORTO (PORTARIA)



Temperaturas, Ganhos solares pelos envidraçados e Voto médio previsto com estores pelo interior



Situação com os estores pelo exterior

# ANEXO VI– EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO POR SETOR

---

## Setor 1

- BOMBA GEOTÉRMICA 1: reversível água-água, RHOSS They 275
  - Potência frigorífica nominal = 69,4 kW
  - Potência calorífica nominal = 83,66 kW
  - Potência elétrica = 19,55 kW
- RECUPERADOR DE CALOR UTA 1/2: HOVAL NV-140, X-65 e N-65
  - Caudal impulsão= 4775 e 4134 m3/h, respetivamente
  - Caudal de retorno= 3527 e 4134 m3/h, respetivamente

## Setor 2

- BOMBA GEOTÉRMICA 2: igual à do setor 1
- RECUPERADOR DE CALOR UTA 3/4: iguais aos do setor 1

## Setor 3

- BOMBA GEOTÉRMICA 3: reversível água-água, RHOSS They 2100
  - Potência frigorífica nominal = 96,2 kW
  - Potência calorífica nominal = 116,26 kW
  - Potência elétrica = 27,13 kW
- RECUPERADOR DE CALOR UTA 5/6/7: HOVAL NV-120 R-65, X50 e X65
  - Caudal impulsão= 4553, 4562 e 3600 m3/h, respetivamente
  - Caudal de retorno= 3111, 2362 e 3600 m3/h, respetivamente

## Bastidores

- AR CONDICIONADO: de Expansão Direta, mural, PANASONIC
  - Potência frigorífica nominal = 5,0 kW

Sistemas responsáveis pela climatização do edifício, em pormenor

# ANEXO VII – ESTRATÉGIAS PARA CONTROLO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

(ENERES, 2010)

<b>Inverno dia soalheiro (modo calor)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Às 8:00 h, temperatura de 21°C e ligação da UTA, abertura dos termoestores.</li> <li>– Captação solar pelas janelas da fachada Sul e pelas claraboias.</li> <li>– Aquecimento de ar nos Grammer.</li> <li>– Se necessário, aquecimento da laje termoactiva com bombas geotérmicas.</li> <li>– Se necessário, aquecimento de ar na UTA com as bombas geotérmicas.</li> <li>– Se necessário refrigerar, freecooling pela UTA, se bem que significaria um fracasso do controlo, dado que o sistema deveria ter deixado de aquecer antes.</li> </ul>
<b>Inverno dia nublado (modo calor)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Às 8:00 h, temperatura de 21°C e ligação da UTA, abertura de termoestores.</li> <li>– Aquecimento ligeiro do ar nos Grammer.</li> <li>– Se necessário, aquecimento de ar na UTA com as bombas geotérmicas.</li> <li>– Se necessário, aquecimento da laje termoactiva com as bombas geotérmicas.</li> </ul>
<b>Inverno noite (modo calor)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Às 19:00 h comprovar pressão barométrica.</li> <li>– Se a pressão barométrica indica tendência de aumento, ou está alta, baixa de temperatura para 18°C.</li> <li>– Se a pressão barométrica indica tendência de descida, ou está baixa, baixa de temperatura para 19°C.</li> <li>– Às 20:00 h fechar os termoestores de todas as fachadas.</li> <li>– Às 6:00 h comprovar pressão barométrica.</li> <li>– Se a pressão barométrica indica tendência de aumento, ou está alta, não fazer nada.</li> <li>– Se a pressão barométrica indica tendência de descida, ou está baixa, subida de temperatura de para 20°C e aquecer a laje termoactiva.</li> <li>– Às 7:00 h, comprovar pressão barométrica</li> <li>– Se a pressão barométrica indica tendência de aumento, ou está alta, subir temperatura para 21°C e apenas aquecimento de ar na UTA com as bombas geotérmicas.</li> <li>– Se a pressão barométrica indica tendência de descida, ou está baixa, subir temperatura para 21°C e apenas aquecimento da laje termoactiva com as bombas geotérmicas.</li> </ul>

<b>Verão dia (modo frio)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Às 8:00 h, temperatura nos 25°C, e ligação da UTA.</li> <li>– Reflexão do Sol por meios passivos, usando para-sóis fixos na fachada Sul e nas claraboias, que impedirão a passagem do Sol.</li> <li>– Se possível, freecooling pelas janelas basculantes.</li> <li>– Se possível, freecooling pela UTA.</li> <li>– Se possível, utilizar o geocooling para frio na UTA.</li> <li>– Se possível, utilizar o geocooling para refrigeração da laje termoactiva.</li> <li>– Se necessário, refrigeração de ar na UTA com as bombas geotérmicas.</li> <li>– Se necessário, refrigeração da laje termoactiva com as bombas geotérmicas.</li> </ul>
<b>Verão noite (modo frio)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Às 19:00, subida da temperatura para 26°C. Às 20:00 h, paragem da instalação.</li> <li>– Quando a temperatura exterior noturna o permita, abertura da claraboia superior para forçar a evacuação do ar quente do edifício, e entrada de ar exterior através dos basculantes das janelas para refrigerar o interior do edifício e, desta forma, prepará-lo para que no dia seguinte as lajes absorvam parte das cargas térmicas interiores.</li> <li>– Às 7:00 h, colocar temperatura das lajes termoactivas nos 25°C, pois se durante a noite estiverem a temperaturas superiores, e caso seja necessário, refrigerá-los com as bombas geotérmicas.</li> </ul>

<b>Primavera dia (modo calor)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Às 8:00 h, temperatura nos 21°C e ligação da UTA, abertura de termoestores.</li> <li>– Captação solar pelas janelas da fachada Sul e pelas claraboias.</li> <li>– Se necessário, aquecimento do ar nos Grammer.</li> <li>– Se necessário, ligeiro aquecimento do ar na UTA com as bombas geotérmicas.</li> <li>– Se necessário, ligeiro aquecimento da laje termoactiva com as bombas geotérmicas.</li> <li>– Conforme avança o dia, se for necessário frio na UTA, utilizar freecooling e/ou geocooling.</li> <li>– Se necessário e for possível, freecooling nos basculantes das janelas.</li> <li>– Conforme avança o dia, se necessário, refrigeração da laje termoactiva por geocooling.</li> </ul>
<b>Primavera noite (modo calor)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Às 19:00 h, paragem da instalação.</li> <li>– Às 20:00 h, fechar basculantes das janelas e clarabóias.</li> <li>– Às 7:00 h, temperatura de 21°C, e apenas ligeiro aquecimento de lajes termoactivas com as bombas geotérmicas, se necessário.</li> </ul>

<b>Outono dia (modo frio)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Às 8:00 h, temperatura nos 25°C e ligação da UTA.</li> <li>– Reflexo do Sol por meios passivos, mediante pára-sóis fixos na fachada Sul e nas claraboias, que impedirão a passagem do Sol.</li> <li>– Se possível, freecooling pelos basculantes das janelas.</li> <li>– Se possível, freecooling pela UTA.</li> <li>– Se necessário, ligeira refrigeração de ar na UTA com as bombas geotérmicas.</li> <li>– Se necessário, ligeira refrigeração da laje termoactiva com as bombas geotérmicas.</li> <li>– Conforme avança o dia, se for necessário calor na UTA, utilizar os Grammer.</li> <li>– Conforme avança a estação, se for necessário calor nas lajes, usar geocooling.</li> </ul>
<b>Outono noite (modo frio)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Às 19:00 h, paragem da instalação.</li> <li>– Quando a temperatura exterior noturna o permita, abertura da claraboia superior para forçar a evacuação de ar quente do edifício, e entrada de ar exterior através dos basculantes das janelas para refrigerar o interior do edifício e, desta forma, prepará-lo para que no dia seguinte as lajes absorvam parte das cargas térmicas interiores. Esta estratégia usar-se-á no princípio do Outono, e deixará de utilizar-se conforme avance a estação e deixe de ser necessário refrigerar o edifício.</li> <li>– Às 7:00 h, colocar temperatura das lajes termoactivas nos 25°C, pois se durante a noite estiverem a temperaturas superiores, e caso seja necessário, refrigerá-los com as bombas geotérmicas.</li> </ul>

# ANEXO VIII– ESPECIFICAÇÕES PLANITHERM ULTRA

N

## SGG PLANITHERM® ULTRA N

### Aplicações

SGG PLANITHERM ULTRA N, o vidro de isolamento térmico reforçado (baixo emissivo) da Saint-Gobain Glass, pode-se utilizar em todo o tipo de composições de vidro duplo, tanto em obra nova como em renovação:

- Janelas das moradias.
- Varandas e terraços envidraçados.
- Janelas e fachadas de edifícios não residenciais, seja como único vidro de capa ou combinado com um vidro de controlo solar da gama SGG COOL-LITE ST.

Este produto pode aplicar-se com qualquer tipo de caixilho.

### Benefícios

SGG PLANITHERM ULTRA N montado em vidro duplo de elevadas prestações SGG CLIMAPLUS oferece até três vezes mais isolamento que um vidro float tradicional.

- Ajuda a reduzir as despesas com isolamento.
- Permite alcançar o máximo de nível de conforto:
  - Reduz o efeito de parede fria nas imediações da janela.
  - Permite aproveitar ao máximo as divisões envidraçadas, inclusive nas estações mais frias.
  - Contribui para reduzir os níveis de condensação na face interna do vidro duplo.
- Permite a máxima entrada de luz natural e calor do sol no interior das habitações.
- De aspecto super neutro, em perfeita sintonia com a moderna arquitectura.
- Ao contribuir para a redução das despesas com isolamento, também minimiza as emissões de CO<sub>2</sub>.

### Descrição

SGG PLANITHERM ULTRA N é um vidro baixo emissivo de elevadas prestações destinado a ser montado em vidro duplo SGG CLIMAPLUS.

Para a sua fabricação nas linhas de capas magnetronicas da Saint-Gobain Glass, utiliza-se vidro float incolor SGG PLANILUX, matéria prima de altíssima qualidade sobre o qual se depositam capas atómicas de composição e formulação exclusiva, que conferem ao vidro excepcionais prestações no âmbito do isolamento térmico.

Deste modo, o exclusivo SGG PLANITHERM ULTRA N reflecte a radiação infravermelha e minimiza as perdas de calor através do vidro duplo.

### Gama

#### • Vidrio monolítico

Espessuras standard de 4 e 6 mm em chapa PLF de 6x3,21 m. Contacte com o seu Delegado de Vendas para outras espessuras (5,8 e 10 mm) e dimensões. Também está disponível a versão a temperar SGG PLANITHERM ULTRA N II (consulte os nossos serviços comerciais).

#### • Vidrio laminado

SGG PLANITHERM ULTRA N está disponível nas composições habituais de:

- Vidros de segurança laminados SGG STADIP e SGG STADIP PROTECT.
- Vidro de segurança laminado de elevadas prestações de atenuação acústica SGG STADIP SILENCE.

### Transformação

SGG PLANITHERM ULTRA N deve montar-se sempre em vidro duplo SGG CLIMAPLUS. A capa deve se desbordar perifericamente antes da sua montagem em vidro duplo e pode colocar-se em face 2 ou 3, sempre para o interior da câmara.

Para mais informações solicite o nosso Guia de Transformação Exclusiva.

### Prestações

SGG PLANITHERM ULTRA N cumpre os requisitos da Classe C da Norma Europeia EN 1096 e tem marcação CE ([www.saint-gobain-glass.com/ce](http://www.saint-gobain-glass.com/ce)).

A utilização de SGG PLANITHERM ULTRA N em SGG CLIMAPLUS possibilita o cumprimento do Código Técnico da Edificação Espanhol.

Tabela: Vidro duplo SGG CLIMAPLUS com SGG PLANITHERM ULTRA N. Cálculos realizados com o software Calumen.

SOL PLANTHERM ULTRA R. Cálculos realizados com o software						
Composição (mm)	4-12-4		4-16-4		6-12-4	
Posição da capa	3	2	3	2	3	2
Factores luminosos						
T1 (%)	80			79		
R ext (g)	12					
Factor solar (g)	0,62	0,58	0,62	0,58	0,61	0,57
Coefficiente de sombra (SC)	0,72	0,67	0,72	0,67	0,70	0,66
Valor U						
Ar (W/m²K)	1,6		1,4		1,6	
Ar 90% (W/m²K)	1,3		1,1		1,3	

Valores segundo as Normas EN.

### Simulação de soluções

Podem-se realizar-se os cálculos para qualquer composição com o nosso software Calumen®, o qual se pode descarregar na página Web da Saint-Gobain Glass.

SGG CLIMALIT PLUS®, SGG PLANITHERM®, SGG COOL-LITE®, SGG STADIP®, SGG STADIP PROTECT®, SGG STADIP SILENCE®, SGG BIOCLEAR® são marcas registradas da Saint-Gobain

(Saint Gobain Glass - Portugal)